

VU BAUVERFAHREN im TUNNEL- und HOHLRAUMBAU

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hans Georg JODL

3. ÜBUNGSBEISPIEL:

ERMITTLUNG von VORTRIEBSSLEISTUNGEN einer TEILSCHNITTMASCHINE (TSM)

inkl. GERÄTEKOSTENERMITTLUNG für den FRÄS- und SCHÜTTERBETRIEB
beispielhaft anhand einer VTKL

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Arthur SCHÖNWÄLDER



NUR FÜR DEN STUDIENGEBRAUCH!

Technische Universität Wien

INSTITUT FÜR INTERDISZIPLINÄRES BAUPROZESSMANAGEMENT

Fachbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg JODL

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Arthur SCHÖNWÄLDER

INHALTSVERZEICHNIS

A	AUSSCHREIBUNGSGRUNDLAGEN	3
A 1	ALLGEMEINE PROJEKTINFORMATIONEN.....	3
A 2	VORTRIEBSKLASSIFIZIERUNG NACH ÖNORM B 2203-1	3
A 3	EINGANGSPARAMETER FÜR DIE BERECHNUNG	4
B	ANGEBOTSKALKULATION.....	6
B 1	ALLGEMEINES.....	6
B 2	LEISTUNGSERMITTLUNG.....	6
B 2.1	Personaldisposition	6
B 2.2	Gerätedisposition	7
B 2.3	Tabellen und Formeln zur Ermittlung der Vortriebsleistung	8
B 2.3.1	Durchschnittliche Bruttoschneidleistung	8
B 2.3.2	Ermittlung der Fräszeit.....	8
B 2.4	Ermittlung der Vortriebsleistung	10
B 2.4.1	Vorgangsweise	10
B 2.4.2	Ermittlung der Vortriebsleistung.....	12
B 2.4.3	Darstellung der Vortriebsleistung.....	12
B 2.5	Ermittlung des Schutterkonzeptes	13
B 2.5.1	Vorgangsweise	13
B 3	KOSTENERMITTLUNG	16
B 3.1	Geräte- und Personalkosten im Mehrschichtbetrieb	16
B 3.1.1	Kalkulationsgrundlagen für den Mehrschichtbetrieb	16
B 3.1.2	Geräte- und Personalkostenermittlung	16

A AUSSCHREIBUNGSGRUNDLAGEN

A 1 ALLGEMEINE PROJEKTINFORMATIONEN

Im Zuge des viergleisigen Ausbaus der Westbahn wird im Abschnitt Haag – St. Valentin eine 13,55 km lange Neubaustrecke als Hochleistungsstrecke errichtet. Dessen Herzstück bildet der 6.480 m lange Siebertunnel, der von Ost nach West mit 0,7 bis 1,0 % fällt und dabei einen Höhenunterschied von 53,44 m überwindet. Der Ausbruchsquerschnitt variiert zwischen 115,0 und 138,0 m².

Der zyklisch mechanische Vortrieb mittels einer **Teilschnittmaschine (TSM)**¹ stellt eine Alternative zum Sprengvortrieb dar. Gegenüber dem Sprengvortrieb hat diese Vortriebsmethode folgende Vorteile:

- profilgenauer Ausbruch - geringer Überprofilanteil
- gebirgsschonenderes Gesteinslösen - erhöht die Standzeit und damit ist die Klassifizierung des Gebirges beim kontinuierlichen Tunnelbau tendenziell um eine Stufe besser als die Klassifizierung desselben Gebirges beim zyklischen Sprengvortrieb
- gleichzeitiges Schneiden und Schüttern ist möglich
- Möglichkeit der Profilgestaltung - Kavernen oder Nischen können somit im gleichen Abschlag ausgebrochen werden

Der Vortrieb mit einer TSM weist gegenüber Vortrieben mit Tunnelbohr- bzw. Schildvortriebsmaschinen folgende Vorteile auf:

- größere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit
- schnellere Umsetzbarkeit
- Vortrieb in Teilquerschnitten möglich

A 2 VORTRIEBSKLASSIFIZIERUNG NACH ÖNORM B 2203-1

Aufbauend auf der Prognose der Gebirgsverhaltenstypenverteilung im geologischen Längenschnitt, legt der planende Bauingenieur - aufgrund langjähriger Erfahrung mit anderen Tunnelbauprojekten - einen Regelquerschnitt und die dazugehörige maximale Abschlagslänge (abhängig von der Standzeit des Gebirges) in den einzelnen Homogenbereichen fest. Über die Abschlagslänge wird die erste Ordnungszahl einer Vortriebsklasse definiert (siehe ÖNORM B 2203-1, Tab. 1).

Nachdem Regelquerschnitt und Abschlagslänge für die einzelnen Gebirgsverhaltenstypen festgelegt wurden, nimmt der Planer, nach einem von ihm verfassten Stützmittelausteilungsplan, die Verteilung der Stützmittel (nach Art und Umfang) in den

¹ Teilschnittmaschine [siehe Skriptum BVT/H.G. Jodl]:

Unter der Bezeichnung Teilschnittmaschine versteht man eine selbstfahrende (in der Regel mit einem Raupenfahrwerk ausgestattete) Vortriebsmaschine, deren Schneid- bzw. Lösewerkzeuge an einem schwenkbaren Ausleger montiert sind. Standardwerkzeug der um die Längs- oder Querachse rotierenden Abbauwalzen ist der Rundschafmeißel mit Hartmetallspitze.

Gebirgsverhaltenstypen vor. Durch die Bewertung der Stützmittel gem. ÖN B 2203-1 ergibt sich die zweite Ordnungszahl.

Für das gegenständliche Beispiel wird nur der Kalottenvortrieb untersucht, es wurden für den Vortrieb der Kalotte mittels Teilschnittmaschine fünf Vortriebsklassen (VTKL) ausgeschrieben und in der nachfolgenden Vortriebsklassenmatrix für den zyklischen Vortrieb eingetragen:

ERSTE ORDNUNGSZAHL	KALOTTE ODER KALOTTE PLUS STROSSE	STROSSE	ZWEITE ORDNUNGSZAHL - STÜTZMITTELZAHL									
			ABSCHLAGSLÄNGE BIS									
			1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
1	Keine Vorgabe	Wird im gegenständlichen Beispiel nicht betrachtet!										
2	4,00 m											
3	3,00 m											
4	2,20 m											
5	1,70 m		5/1,05	5/2,65								
6	1,30 m				6/3,80							
7	1,00 m					7/4,29	7/6,89					
8	0,80 m											
9	0,60 m											

Abbildung 1: Vortriebsklassenmatrix für zyklischen Vortrieb

A 3 EINGANGSPARAMETER FÜR DIE BERECHNUNG

Zur Ermittlung der Vortriebsleistung einer Teilschnittmaschine in der Kalotte wurden sämtliche Eingangsparameter, die für die Berechnung notwendig sind, zusammengestellt:

Tunnelvortrieb / Geologie:	Vortriebsklasse:				
	5/1,05	5/2,56	6/3,80	7/4,29	7/6,89
Querschnittsfläche [m²]:	52,60	53,52	54,81	56,31	58,29
Abschlagslänge [m]:	1,50	1,50	1,15	0,90	0,90
Druckfestigkeit Gebirge aus Bohrkernproben [MPa]:	38 bis 42	32 bis 36	22 bis 26	14 bis 18	8 bis 12

Tabelle 1: Eingangsparameter Geologie

Tunnelvortrieb / TSM:	Vortriebsklasse				
	5/1,05	5/2,56	6/3,80	7/4,29	7/6,89
Umstellvorgang der TSM [h]:	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Meißel austauschzeit in % der reinen Fräszeit:	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Tabelle 2: Eingangsparameter Teilschnittmaschine

Tunnelvortrieb / Sicherung ^{*)} :	Vortriebsklasse				
	5/1,05	5/2,56	6/3,80	7/4,29	7/6,89
Zeitaufwand Fräsen [%]:	58,00	50,00	41,00	38,00	27,00
Zeitaufwand Sicherung [%]:	42,00	50,00	59,00	62,00	73,00
Zeitaufwand pro Abschlag [%]:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabelle 3: Eingangsparameter Sicherungsarbeiten

^{*)} Das Verhältnis von Zeitaufwand Fräsen und Zeitaufwand Sicherung in den einzelnen Vortriebsklassen entspricht Werten aus der Nachkalkulation von verschiedenen Projekten mit TSM-Vortrieben.

B ANGEBOTSKALKULATION

B 1 ALLGEMEINES

Nach Behebung der Ausschreibungsunterlagen wird vom Unternehmer das ausgeschriebene Bauprojekt auf Basis seines Unternehmenskonzeptes und seiner Leistungsfähigkeit beurteilt. Im Zuge der Erhebung der Kalkulationsgrundlagen werden die Ansätze der Leistung und in weiterer Folge die Ansätze der Kosten ermittelt.

Nach Hinzufügen der unternehmensspezifischen Zuschläge und Abschätzung aller Risiken (Wagnis, Gewinn) wird der endgültige Preis gebildet und dem Angebot zugrunde gelegt.

Im gegenständlichen Beispiel werden hauptsächlich Leistungsansätze für die ausgeschriebenen Vortriebsklassen ermittelt, die Gerätekosten werden in diesem Beispiel nur anhand der Vortriebsklasse 6/3,80 erläutert. **Eine unternehmensspezifische Preisbildung wird in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.**

B 2 LEISTUNGSERMITTLUNG

B 2.1 Personaldisposition

Die Vortriebsmannschaft setzt sich beim Vortrieb mit einer TSM wie folgt zusammen:

Vortriebsart	Vortrieb mit Teilschnittmaschine		
	Kalotte	Strosse	Sohle
Personal			
Drittelführer:	1	0	0
Gerätefahrer TSM:	1	(1)	(1)
Mineure:	4	4	4
Elektriker:	1	0	0
Schlosser:	1	0	0
Σ Mannschaft:	8	4	4

Tabelle 4: Personaldisposition beim Fräsvortrieb

Der Gerätefahrer der TSM wird ausschließlich der Vortriebsmannschaft der Kalotte zugezählt, obwohl er auch in den anderen Vortriebsbereichen (Strosse und Sohle) eingesetzt wird.

B 2.2 Gerätedisposition

Der Abtrag in den ausgeschriebenen Vortriebsklassen erfolgt im zyklischen mechanischen Vortrieb. Als Vortriebsgerät steht dem Unternehmer für das Auffahren der Kalotte ein **Alpine Tunnel Miner ATM 75 mit Querschneidkopf** zur Verfügung.

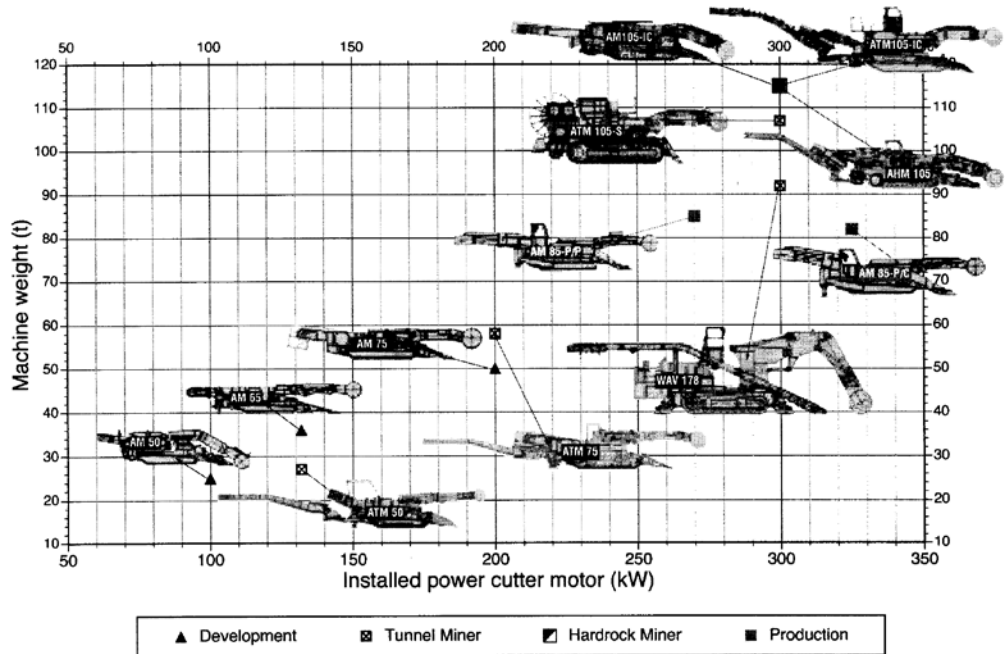


Abbildung 2: Übersicht TSM-Typen der Fa. VOEST-ALPINE Bergtechnik

Diese Teilschnittmaschine verfügt über einen Schneidkopfantrieb mit einer Leistung von 200 kW. Damit können auch die zu erwartenden harten Sandsteinlagen mit Gesteinsfestigkeiten bis zu 100 MPA (entspr. MN/m²) geschnitten werden. Für die weicheren Schichten wird ein Längsschneidkopf vorgehalten.

Gerätedaten Alpine Tunnel Miner ATM 75:

Gewicht:	55 – 58 to
Höhe:	2.560 mm
Länge:	15.300 mm
Breite (inkl. Ladetisch):	3.500 mm
installierte Motorleistung (gesamt):	349 kW
Schrämmotor:	200 kW
max. Schrämpfprofil (Teleskop ausgefahren):	≤ 30 m ²
max. Schrämhöhe:	5.060 mm
max. Schrämbreite:	7.600 mm
Unterschnitt:	280 mm

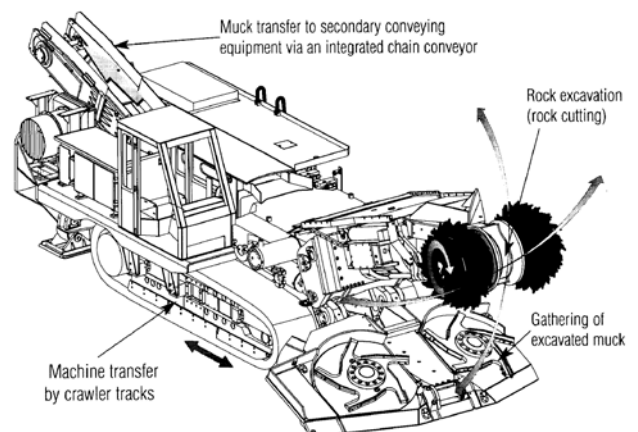


Abbildung 3: Alpine Tunnel Miner ATM 75

B 2.3 Tabellen und Formeln zur Ermittlung der Vortriebsleistung

B 2.3.1 Durchschnittliche Bruttoschneidleistung

Teilschnittmaschinen stellen das Ausbruchsprofil in mehreren Angriffen her, wobei der schwenkbare Ausleger bestückt mit den **Schneid- und Lösewerkzeugen** (Quer- oder Längsschneidkopf) die gesamte Ortsbrust bestreichen kann und die Materialerfassung bzw. -aufnahme an der Ortsbrust sowie die Materialförderung zum Nachläufer am Gerät integriert sind.

Die Schneidleistung einer TSM hängt vorwiegend von der Druckfestigkeit des Gesteins ab. Aus Laborversuchen an Bohrkernproben sind die zu erwartenden Druckfestigkeiten in den einzelnen Vortriebsklassen (siehe Pkt. A 3/ Tabelle 1) bekannt. Mit Hilfe des nachfolgenden Diagramms (siehe Abbildung 4) kann in Abhängigkeit von der prognostizierten Druckfestigkeit des Gesteins die Bruttoschneidleistung (bzw. Bruttoschrämleistung) ermittelt werden.

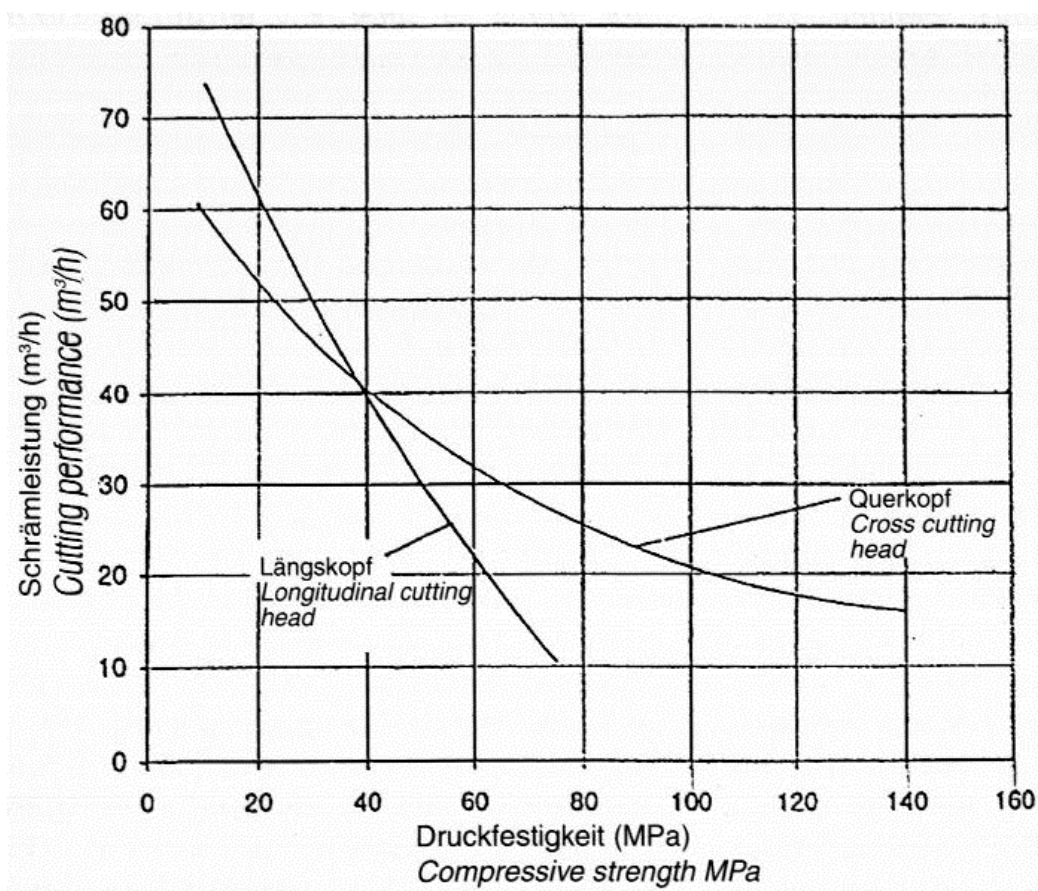


Abbildung 4: Bruttoschrämleistung (Schneidleistung) in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit

B 2.3.2 Ermittlung der Fräszeit

Die Vortriebsleistung ergibt sich aus der Fräszeit und dem Zeitaufwand für das Einbringen der Sicherung. Das Verhältnis von Fräszeit zum Zeitbedarf für den Stützmitteleinbau in den einzelnen Vortriebsklassen wurde aus der Nachkalkulation von vergleichbaren Tunnelprojekten entnommen und ist in Pkt. A 3/Tabelle 3 dargestellt. Der Schutterbetrieb liegt beim Fräsvortrieb nicht am kritischen Weg (Bauzeitplanung), da die Muldenkipper entweder kontinuierlich von der TSM oder nachträglich von einem Radlader beladen werden können.

Die Fräszeit setzt sich, unabhängig von der Form des Schneidkopfes, folgendermaßen zusammen²:

- reine **Fräszeit** t_{RF} :

$$t_{RF} [h] = \frac{Q_{fest}}{q_{RF}} \quad [1]$$

mit Q_{fest} = Ausbruchsvolumen in $[m^3]$
 q_{RF} = Schneidleistung in $[m^3/h]$

- **Umstellzeit** t_u :

Der Zeitbedarf für den Umstellvorgang einer TSM wurde aus der Nachkalkulation von vergleichbaren Tunnelprojekten abgeleitet. Für die Ermittlung der gesamten Umstellzeit während eines Abschlages wird kalkulatativ ein zweimaliges Umstellen der TSM mit 0,2 h je Umstellvorgang (siehe Pkt. A 3/Tabelle 2) angesetzt.

$$t_u = 0,4 \text{ h pro Abschlag} \quad [2]$$

- **Meißelaustauschzeit** t_M :

Die Kontrolle und Wartung der Meißel schlägt sich mit 10 % (= Faktor f_m) der reinen Fräszeit zu Buche (siehe Pkt. A 3/Tabelle 2).

$$t_M [h] = f_m \times t_{RF} \quad [3]$$

² vgl.: Rainer Thöni, Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Sprengvortrieb und Fräsvortrieb; Diplomarbeit Innsbruck, März 1991

B 2.4 Ermittlung der Vortriebsleistung**B 2.4.1 Vorgangsweise**

Die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Vortriebsleistung (siehe Punkt B 2.4.2) wird beispielhaft für die Vortriebsklasse 6/3,80 erklärt.

B 2.4.1.1 reine Fräszeit t_{RF}

- Das Ausbruchsvolumen wird als Produkt der Querschnittsfläche und der Abschlagslänge berechnet.
 - Abschlagslänge $a = 1,15 \text{ m}$ (siehe Pkt. A 3/Tabelle 1)
 - Querschnittsfläche $A = 54,81 \text{ m}^2$ (siehe Pkt. A 3/Tabelle 1)
 - Ausbruchsvolumen $Q_{fest} = 54,81 \text{ m}^2 \times 1,15 \text{ m} = 63,03 \text{ m}^3_{fest}$
- Die Schneidleistung wird über den Zusammenhang von Bruttoschneidleistung und Druckfestigkeit des Gebirges (siehe Pkt. B 2.3.1/Abbildung 4) bestimmt. In der Vortriebsklasse 6/3,80 wurde in Laborversuchen die Druckfestigkeit des Gebirges mit einer Bandbreite von 22 – 26 MPa festgelegt (siehe Pkt. A 3/Tabelle 1).

Annahme einer mittleren Druckfestigkeit: 24 MPa

Bruttoschneidleistung (aus Pkt. B 2.3.1/Abbildung 4) $q_{RF} = 48 \text{ m}^3/\text{h}$

- Die reine **Fräszeit** t_{RF} wird mit der Formel [1] berechnet:

$$t_{RF} [\text{h}] = \frac{Q_{fest}}{q_{RF}} = \frac{63,03 \text{ m}^3}{48 \text{ m}^3/\text{h}} = 1,31 \text{ h pro Abschlag} \quad \text{siehe [1]}$$

B 2.4.1.2 Umstellzeit t_u

Der Zeitbedarf für den Umstellvorgang der Teilschnittmaschine während eines Abschlages wird mit Hilfe der Formel [2] berechnet:

$$t_u = 0,4 \text{ h pro Abschlag} \quad \text{siehe [2]}$$

B 2.4.1.3 Meißelaustauschzeit t_m

Die Meißelaustauschzeit t_m wird mit dem Faktor $f_m = 0,10$ und der Formel [3] ermittelt.

$$t_m [\text{h}] = f_m \times t_{RF} = 0,10 \times 1,31 = 0,13 \text{ h pro Abschlag} \quad \text{siehe [3]}$$

B 2.4.1.4 Fräszeit t_F

Die Fräszeit errechnet sich als Summe von reiner Fräszeit t_{RF} , Umstellzeit t_u und Meißelaustauschzeit t_m .

$$t_F = t_{RF} + t_u + t_m = 1,31 + 0,40 + 0,13 = 1,84 \text{ h pro Abschlag}$$

B 2.4.1.5 Sicherungsarbeiten t_s

Das Verhältnis von Zeitaufwand Fräsen und Zeitaufwand Sicherung in den einzelnen Vortriebsklassen entspricht Werten aus der Nachkalkulation von verschiedenen TSM-Vortrieben. In der Vortriebsklasse 6/3,80 wurde kalkulatv ein Verhältnis von Fräszeit t_f zu Sicherung t_s mit 41 : 59 angenommen (vgl. Pkt. . A 3/Tabelle 3).

$$t_f = 1,84 \text{ h pro Abschlag} \quad (41 \%)$$

$$t_s = 1,84 \times 59/41 = 2,65 \text{ h pro Abschlag} \quad (59 \%)$$

B 2.4.1.6 Gesamtdauer t_G

Der Zeitbedarf für einen Abschlag errechnet sich je Vortriebsklasse als Summe der Zeitaufwände für Fräsarbeit und Sicherungseinbau.

$$t_G = t_f + t_s = 1,84 + 2,65 = 4,49 \text{ h pro Abschlag} \quad (100 \%)$$

B 2.4.1.7 Vortriebsleistung

Auf der Baustelle wird ein 4/3-Dekadendurchlaufbetrieb eingerichtet, d.h. die tägliche Arbeitszeit beträgt 24 Stunden.

- Zeitbedarf pro Abschlag: 4,49 h
- Abschlüge pro Arbeitstag (AT): $24,0 \text{ h} / 4,49 \text{ h} = 5,34 \text{ Abschlüge/AT}$
- Abschlagslänge: 1,15 m/Abschlag

- **Vortriebsleistung pro Arbeitstag:**
 $5,34 \text{ Abschlüge/AT} * 1,15 \text{ m/Abschlag} = 6,14 \text{ m/AT}$

B 2.4.2 Ermittlung der Vortriebsleistung

		VORTRIEBSKLASSE					Anmerkung
		5/1,05	5/2,56	6/3,80	7/4,29	7/6,89	
Ausbruchlänge	m	1,50	1,50	1,15	0,90	0,90	Eingangsparameter
Querschnittsfläche	m ²	52,60	53,52	54,81	56,31	58,29	Eingangsparameter
Druckfestigkeit Gebirge	MPa	40	34	24	16	10	Eingangsparameter
Reine Fräszeit							
Q _{fest} =	m ³	78,90	80,28	63,03	50,68	52,46	Berechnung
q _{RF} =	m ³ /h	40	44	48	55	60	Berechnung
t _{RF} = Q _{fest} / q _{RF} =	h	1,97	1,81	1,31	0,92	0,87	Berechnung
Umstellzeit							
t _U =	h	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	Eingangsparameter
Meißelaustauschzeit f _m = 10%							
t _M = f _m * t _{RF} =	h	0,20	0,18	0,13	0,09	0,09	Eingangsparameter Berechnung
Fräszeit	h	2,57	2,39	1,84	1,41	1,36	Berechnung
in % der Gesamtdauer		58%	50%	41%	38%	27%	Eingangsparameter
Sicherungsarbeiten	h	1,86	2,39	2,65	2,31	3,68	Berechnung
in % der Gesamtdauer		42%	50%	59%	62%	73%	Eingangsparameter
Gesamtdauer	h	4,43	4,78	4,50	3,72	5,04	Berechnung
		100%	100%	100%	100%	100%	
Vortriebsleistung	m/AT	8,13	7,53	6,14	5,81	4,28	Berechnung

Tabelle 5: Ermittlung der Vortriebsleistung

B 2.4.3 Darstellung der Vortriebsleistung

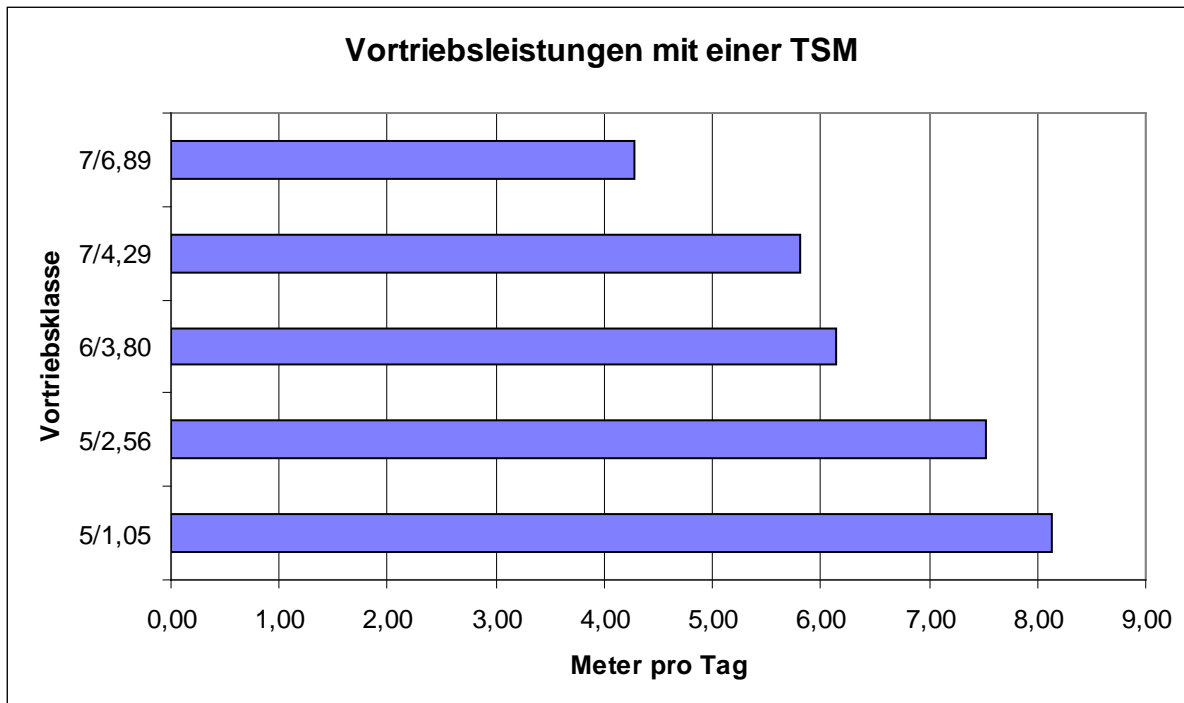


Abbildung 5 Vortriebsleistungen in Meter pro Tag

B 2.5 Ermittlung des Schutterkonzeptes

Der Schutterbetrieb liegt beim Fräsvortrieb (TSM) nicht am kritischen Weg, da im gegenständlichen Beispiel die Muldenhinterkipper nachträglich von einem Radlader beladen werden. Bei einer Tunnellänge von 6.480 m ergibt sich eine mittlere Transportdistanz von 3.240 m. Die Zwischenlagerung des Schutter- bzw. Ausbruchmaterials erfolgt ca. 260 m nach dem Tunnelportal, d.h. die durchschnittliche Gesamttransportweite für das zu konzipierende Schutterkonzept beträgt 3,5 km.

Der Unternehmer kalkuliert mit einem Tunnelradlader einem zugehörigen Schaufelinhalt von 2,10 – 2,70 m³ (ÖBGL-Nr. H.5.52) sowie nachstehend angeführtem knickgelenkten Muldenkipperfabrikat:

	Atlas Copco MT 2000
Motorleistung [kW]	224
Muldeninhalt [m³]	6,7 / 8,5 / 10,8 / 12,5
Leergewicht [t]	19,3
Nutzlast [t]	max. 20,0
Gesamtgewicht [t]	39,3



Tabelle 6: technische Daten des Muldenhinterkippers

Es ist ein wirtschaftlicher und technisch einwandfreier Bauablauf zu konzipieren, d.h. die Ladeleistung des Schuttergerätes und die nachfolgende Transportleistung der Muldenhinterkipper sind auf die stündliche Abbauleistung der TSM abzustimmen.

B 2.5.1 Vorgangsweise

Die Vorgangsweise für die Konzipierung des Schutterbetriebes bzw. –ablaufes wird beispielhaft für die Vortriebsklasse 6/3,80 erläutert:

B 2.5.1.1 Geräteleistung des Tunnelradladers

Die eigentliche Schutterung des Ausbruchmaterials erfolgt mit einem leistungsstarken Tunnelradlader über eine einfache Y-Bewegungsschleife zum Transportgerät (Muldenkipper) mit einer durchschnittlichen Weglänge von 80,0 m je Fahrtrichtung.

Hinfahrt zum Ausbruchmaterial (leer)	:	v = 12 km/h; l = 80,0 m	=	24,0 sek
Laden	:	Abschätzung	=	15,0 sek
Rückfahrt zum Transportgerät	:	v = 8 km/h; l = 80,0 m	=	36,0 sek
Entladen	:		=	10,0 sek
Umlaufzeit	:			85,0 sek (=1,42 min)
Ladespiele pro Stunde	:	60 min/h : 1,42 min/U	=	42,4 LS/h
gew. Ladespiele pro Stunde	:			42,0 LS/h
erforderliche Schaufelgröße	:	48,0 m ³ /h x 1,65 : (42 LS/h x 0,80)	=	2,36 m ³
				bei einem Füllungsgrad der Schaufel von 80%

Die Abstimmung des Transportfahrzeuges auf das Ladegerät erfolgt über die Anzahl der Ladespiele, die zur vollständigen Beladung des Transportfahrzeuges erforderlich sind.

Der Radlader (Schaufelinhalt 2,40 m³) sollte den knickgelenkten Muldenkipper mit 4 bis 6 Ladespielen beladen:

Abschätzung:

- AC MT 2000:
 $10,80 \text{ m}^3\text{-Muldeninhalt} / 2,40 \text{ m}^3\text{-Schaufelinhalt} \times 80\% \text{ (Löffelfüllungsgrad)} = 5,6 \text{ LS} / \text{Mulde}$
 liegt zwischen 4 u. 6 LS → Gerät OK

⇒ **gewähltes Transportgerät: AC MT 2000** (Muldenkipper mit 10,8 m³-Muldeninhalt)

- erforderl. Massenabfuhr: $48,0 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} \times 1,65 = 79,2 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$
 Lagerungsdichte $D = 2,65 \text{ t/m}^3$
 Schüttdichte von $\rho_S = 1,61 \text{ t/m}^3$ und
 Auflockerungsbeiwert $f_A = 1,65$

- Geräteleistung:
 Ladespiele pro Stunde: 42 LS/h (Kalkulationsannahme)
 Ladespiele pro Minute: 0,70 LS/min (= 42 LS/h : 60 min/h)
 Minuten pro Ladespiel: 1,43 min/LS (= 60 min/h : 42 LS/h)
 Schaufelinhalt: 2,40 m³

$$42 \text{ LS/h} \times 2,40 \text{ m}^3/\text{LS} \times 80\% \text{ (Löffelfüllungsgrad)} = 80,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$$

$$80,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} : 1,65 = 48,9 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} > 48,0 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h}$$

Ladeleistung > Schrägleistung

B 2.5.1.2 Geräteleistung der Muldenkipper

- Bestimmung der Umlaufzeit einer Mulde:
 Beladezeit: $10,80 \text{ m}^3 : (2,40 \text{ m}^3 \times 80\%) \Rightarrow 6 \text{ LS} \times 1,43 \text{ min/LS} = 8,6 \text{ min}$
 $(6 \text{ LS} \times 2,40 \text{ m}^3 \times 80\% \times 1,61 \text{ t/m}^3 = 18,5 \text{ t} < 20,0 \text{ t})$
 Hinfahrt (voll): $v = 20 \text{ km/h} \Rightarrow 3,5 \text{ km} / 20 \text{ km/h} = 10,5 \text{ min}$
 Entladezeit: Kalkulationsannahme = 2,0 min
 Rückfahrt (leer): $v = 35 \text{ km/h} \Rightarrow 3,5 \text{ km} / 35 \text{ km/h} = 6,0 \text{ min}$
 Umlaufzeit einer Mulde: = 27,1 min

- Bestimmung der erforderlichen Anzahl an Mulden:
 Die erforderliche Anzahl an Mulden errechnet sich als Quotient von Umlaufzeit und Beladezeit.
 Umlaufzeit: 27,1 min
 Beladezeit: 8,6 min
 Muldenanzahl = Umlaufzeit / Beladezeit = 27,1 min / 8,6 min = 3,2 Mulden

⇒ **es sind 4 knickgelenkte Muldenkipper Atlas Copco MT 2000 erforderlich**

B 2.5.1.3 Nachweis der Stehzeitbedingung des „Schlüsselgerätes“ Tunnelradlader bzw. TSM

$$n \times Q_{tr} \geq Q_{la}$$

n ... Anzahl der Transportfahrzeuge

Q_{tr} ... Leistung des Transportfahrzeuges

Q_{la} ... Leistung des Ladegerätes

$$Q_{tr} = 60 \text{ min/h} : 27,1 \text{ min/Umlauf} \times 10,80 \text{ m}^3_{lose}/\text{Mulde} = 23,9 \text{ m}^3_{lose}/\text{h und Mulde}$$

$$n = 4 \text{ Mulden}$$

$$Q_{tr} \text{ (siehe oben)} = 95,6 \text{ m}^3_{lose}/\text{h}$$

⇒ theor. Verfuhrleistung Mulden **95,6 m³_{lose}/h** > Ladeleistung Radlader **80,6 m³_{lose}/h**

> Fräsleistung TSM **79,2 m³_{lose}/h**

B 3 KOSTENERMITTLUNG

B 3.1 Geräte- und Personalkosten im Mehrschichtbetrieb

Aufbauend auf den Punkt B2 „LEISTUNGSERMITTLUNG“ werden in Folge die Gerätekosten des Fräs- und Schutterbetriebes in der Kalotte untersucht. Für die Ermittlung der Gerätekosten kann sowohl die Neuwertmethode als auch die Berechnung nach der österreichischen Baugeräteliste herangezogen werden.

B 3.1.1 Kalkulationsgrundlagen für den Mehrschichtbetrieb

In diesem Beispiel erfolgt die Gerätekostenermittlung nach der österreichischen Baugeräteliste (Ausgabe 2009) – auf Preisbasis 2008 mit GHPI 100,0 hochgerechnet:

○ Berechnung der Abschreibung und Verzinsung:

$$A/Mo \text{ [€/Mo]} = (\text{Neuwert} / \text{Vorhaltemonate}) \times \text{Abminderung} \times \text{ZMSF}$$

$$\text{Abminderung ÖBGL 2009:} \quad 0,70$$

$$\text{ZMSF} = 3 \times 172 \text{ h/Mo}_s \times \text{z. B. } 41 \%_{(6/3,80)} : 172 \text{ h/Mo}_R = 1,23$$

$$\text{Verzinsung [€/Mo]} = (\text{Nutzungsjahre} \times \text{Neuwert} \times \text{Zinssatz}) / (2 \times \text{Vorhaltemonate}) \times \text{Abmind.}$$

○ Berechnung des Reparaturentgeltes:

$$\text{Rep./Mo [€/Mo]} = \text{Neuwert} \times \text{monatl. Satz f. Rep.} \times \text{Abminderung} \times \text{ZMSF} \times \text{RMSF}$$

$$\text{monatl. Satz f. Rep lt. ÖBGL 2009}$$

$$\text{Abminderung ÖBGL 2009:} \quad 0,80$$

$$\text{RMSF (Reparaturmehrschichtfaktor)} \quad 1,10$$

○ Berechnung der Betriebsstoffe:

$$\text{Treibstoffkosten: Betriebskosten [€/h]} = \text{Leistung} \times \text{Verbrauch} \times \text{SMF} \times \text{BStVF}$$

$$\text{Leistung des Gerätes in kW}$$

$$\text{Verbrauch Leistungsgeräte} \quad 0,15 - 0,30 \text{ l/kWh}$$

$$\text{Dieselkosten in €/Liter} \quad 0,85 \text{ €/l}$$

$$\text{Stromkosten in kW/Stunde} \quad 0,22 \text{ €/kWh}$$

B 3.1.2 Geräte- und Personalkostenermittlung

Die Kostenkalkulation der notwendigen Leistungsgeräte im Mehrschichtbetrieb für den Fräs- und Schutterbetrieb erfolgt nach der ÖBGL 2009. Die Gerätedisposition der Vortriebsgeräte in der Kalotte wurde bereits bei den zugehörigen Leistungsberechnungen für den mechanischen Vortrieb mittels TSM getroffen.

Folgende Geräte kommen in der Kalotte f. d. Fräs- und Schutterbetrieb zum Einsatz:

- Alpine Tunnel Miner ATM 75 mit Querschneidkopf
 - Neuwert ATM 75 inkl. Querschneidkopf: 1.361.000,- €
- Tunnelradlader mit Schaufelinhalt 2,40 m³
 - Neuwert: 239.500,- €

- Tunnellader

- Neuwert: 212.500,- €

Die Vorgangsweise bei der Kostenkalkulation der Gerätekosten für den Fräs- und Schutterbetrieb wird wiederum beispielhaft für die Vortriebsklasse 6/3,80 erläutert:

Abminderung A u. V:	0,70
Abminderung Reparatur:	0,80
Regelarbeitszeit / Mo:	172 h/Mo
Schichtbetrieb:	211,56 h/Mo
Zinssatz:	6,5%
ZMSF: (Zeitmehrschichtfaktor)	1,23
RMSF: (Reparaturmehrschichtfaktor)	1,10
SMF: (Schmiermittelfaktor)	1,15
BStVF	
: (Betriebsstoffverbrauchsfaktor)	0,85
Dieserverbrauch:	0,20 l/kWh
Diesekosten:	0,85 €/l
Stromkosten:	0,22 €/kWh
MLK: (Mittellohnkosten)	42,50 €/h

ÖBGL-Nr.: H.2.00.2040

Gerät: Teilschnittmaschine Querschneidkopf mit Ladetisch und Kettenf. (ATM 75)

charakt. Wert: **349 kW inst. Leistung**

Neuwert: 1.361.000 €

Nutzungsjahre: 6 Jahre

Vorhaltemonate: 35 Monate

monatl. Satz f. Rep.: 2,7%

Abschreibung	:	$(1.361.000/35)*0,70*1,23$	=	33.480,60 €/Mo
Verzinsung:		$(1.361.000*6*0,065)/(2*35)*0,70$	=	5.307,90 €/Mo
Reparatur:		$1.361.000*0,027*0,80*1,23*1,10$	=	39.774,95 €/Mo
Betriebsstoffe	:	$349*0,22*1,15*0,85*212$	=	15.878,10 €/Mo
Σ:				94.441,55 €/Mo
Umlage auf 1 Leistungsstunde:		$94.441,55/212$	=	446,41 €/h
Lohnkosten:		$42,5*1,10$	=	46,75 €/h
Σ:				493,16 €/h

TSM - Kosten pro m³-Fräsbetrieb:

493,16 €/h	:	79,2 m ³ _{lose} /h	=	6,23 €/m ³ _{lose}
493,16 €/h	:	48,0 m ³ _{fest} /h	=	10,27 €/m ³ _{fest}

ÖBGL-Nr.:	H.5.52.0150		
Gerät:	Tunnelradlader		
charakt. Wert:	150 kW Motorleistung		
Neuwert:	239.500 €		
Nutzungsjahre:	4 Jahre		
Vorhaltemonate:	35 Monate		
monatl. Satz f. Rep.:	2,2%		
Abschreibung:	$(239.500/35)*0,70*1,23$	=	5.891,70 €/Mo
Verzinsung:	$(239.500*4*0,065)/(2*35)*0,70$	=	622,70 €/Mo
Reparatur:	$239.500*0,022*0,80*1,23*1,10$	=	5.703,17 €/Mo
Betriebsstoffe:	$150*0,20*0,85*1,15*0,85*212$	=	5.273,40 €/Mo
Σ:			17.490,96 €/Mo
Umlage auf 1 Leistungsstunde:	17.490,96/212	=	82,68 €/h
Lohnkosten:	42,5*1,10	=	46,75 €/h
Σ:			129,43 €/h

ÖBGL-Nr.:	H.5.61.0135		
Gerät:	Muldenhinterkipper für Tunnel- und Stollenbau		
charakt. Wert:	20t Nutzlast		
Neuwert:	212.500 €		
Nutzungsjahre:	4 Jahre		
Vorhaltemonate:	45 Monate		
monatl. Satz f. Rep.:	2,2%		
Abschreibung:	$(212.500/45)*0,70*1,23$	=	4.065,83 €/Mo
Verzinsung:	$(212.500*4*0,065)/(2*45)*0,70$	=	429,72 €/Mo
Reparatur:	$212.500*0,022*0,80*1,23*1,10$	=	5.060,22 €/Mo
Betriebsstoffe:	$135*0,20*0,85*1,15*0,85*212$	=	4.746,06 €/Mo
Σ:			14.301,83 €/Mo
Umlage auf 1 Leistungsstunde:	14.301,83/212	=	67,60 €/h
Lohnkosten:	42,5*1,10	=	46,75 €/h
Σ:			114,35 €/h

SK - Kosten pro m³-Schutterbetrieb:

$$(129,43 \text{ €/h} + 4 * 114,35 \text{ €/h}) : 79,2 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 7,41 \text{ €/m}^3_{\text{lose}}$$

$$(129,43 \text{ €/h} + 4 * 114,35 \text{ €/h}) : 48,0 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 12,23 \text{ €/m}^3_{\text{fest}}$$

o Zusammenstellung der Geräte- und Personalkosten für den Fräs- und Schutterbetrieb:

Kosten pro m ³ -Fräsbetrieb:	=	10,27 €/m ³ _{fest}
Kosten pro m ³ -Schutterbetrieb:	=	12,23 €/m ³ _{fest}
zuzügl. anteilige Personalkosten (2 Mann x 42,5 €/h : 48,0 m ³ _{fest} /h)	=	1,77 €/m ³ _{fest}
Σ Kosten pro m³-Fräs- und Schutterbetrieb:		24,27 €/m³_{fest}

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vortriebsklassenmatrix für zyklischen Vortrieb.....	4
Abbildung 2: Übersicht TSM-Typen der Fa. VOEST-ALPINE Bergtechnik	7
Abbildung 3: Alpine Tunnel Miner ATM 75	7
Abbildung 4: Bruttoschrämleistung (Schneidleistung) in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit ..	8
Abbildung 5 Vortriebsleistungen in Meter pro Tag.....	12

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Eingangsparameter Geologie	4
Tabelle 2: Eingangsparameter Teilschnittmaschine	5
Tabelle 3: Eingangsparameter Sicherungsarbeiten.....	5
Tabelle 4: Personaldisposition beim Fräsvortrieb	6
Tabelle 5: Ermittlung der Vortriebsleistung.....	12
Tabelle 6: technische Daten des Muldenhinterkippers	13

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Großer Entwurf aus Einrichtung und Betrieb von Baustellen / W. Klingan & F.A. Leppa / Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft / TU-Wien / 1999
- [2] ÖNORM B 2203 „Untertagebauarbeiten“
- [3] Alpine Tunnel Miner / Firmenprospekt
- [4] Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Sprengvortrieb und Fräsvortrieb / R. Thöni / Diplomarbeit / Universität Innsbruck / 1991
- [5] Beispiel „Zyklischer Tunnelvortrieb“ / H.G. Jodl / Skriptum „Ausgewählte Bauverfahren“ / Beispielsammlung 1999