



**VU BAUVERFAHREN im  
TUNNEL- und HOHLRAUMBAU**

**234.074**

**ÜBUNG – BLOCK 03**

**ERMITTLUNG von VORTRIEBSSLEISTUNGEN  
einer TEILSCHNITTMASCHINE (TSM)**

**WS 2013**

**Univ.Ass. Dipl.-Ing. Arthur Schönwälder**

NUR FÜR DEN STUDIENGEBRAUCH!

# 1 Ausschreibungsgrundlagen

## 1.1 Projektinformation

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 Siebergtunnel, 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 m<sup>2</sup>.

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

- profilgenauer Ausbruch - geringer Überprofilanteil
- gebirgsschonenderes Gesteinslösen - erhöht die Standzeit, daher 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

## 1.2 Vortriebsklassifizierung nach ÖNorm B 2203-1

Aufbauend auf der Prognose der Gebirgsverhaltenstypenverteilung im geologischen Längenschnitt, legt der Planer 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).

---

<sup>1</sup> 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 Rundschaftmeißel mit Hartmetallspitze.

Nachdem Regelquerschnitt und Abschlagslänge für die einzelnen Gebirgsverhaltensstypen festgelegt wurden, nimmt der Planer, nach einem von ihm verfassten Stützmitelausteilungsplan, die Verteilung der Stützmittel (nach Art und Umfang) in den Gebirgsverhaltenstypen vor. Durch die Bewertung der Stützmittel gem. ÖN B 2203-1 ergibt sich die zweite Ordnungszahl.

Für das vorliegende Beispiel wird nur der Kalottenvortrieb mittels Teilschnittmaschine untersucht. Dafür wurden fünf Vortriebsklassen (VTKL) ausgeschrieben und in der nachfolgenden Vortriebsklassenmatrix für den zyklischen Vortrieb eingetragen:

Erste Ordnungszahl	Kalotte oder Kalotte + 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

### 1.3 Eingangsparameter für die Berechnung

Zur Ermittlung der Vortriebsleistung einer Teilschnittmaschine in der Kalotte wurden sämtliche berechnungsrelevante Eingangsparameter 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 - 42	32 - 36	22 - 26	14 - 18	8 - 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
Meißelaustauschzeit in % der reinen Fräszeit	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Tabelle 2: Eingangsparameter Teilschnittmaschine

Tunnelvortrieb / Sicherung <sup>2</sup>	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

Tabelle 3: Eingangsparameter Sicherungsarbeiten

<sup>2</sup> Das Verhältnis von Zeitaufwand Fräsen und Zeitaufwand Sicherung in den einzelnen Vortriebsklassen entspricht Werten aus der Nachkalkulation von verschiedenen Projekten mit TSM-Vortrieben.

## 2 Angebotskalkulation

### 2.1 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.

### 2.2 Leistungsermittlung

#### 2.2.1 Personaldisposition

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

	Vortrieb mit Teilschnittmaschine		
	Kalotte	Strosse	Sohle
<b>Drittelführer</b>	1	0	0
<b>Gerätefahrer TSM</b>	1	(1)	(1)
<b>Mineure</b>	4	4	4
<b>Elektriker</b>	1	0	0
<b>Schlosser</b>	1	0	0
<b>Gesamtmannschaft</b>	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.

### 2.2.2 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.

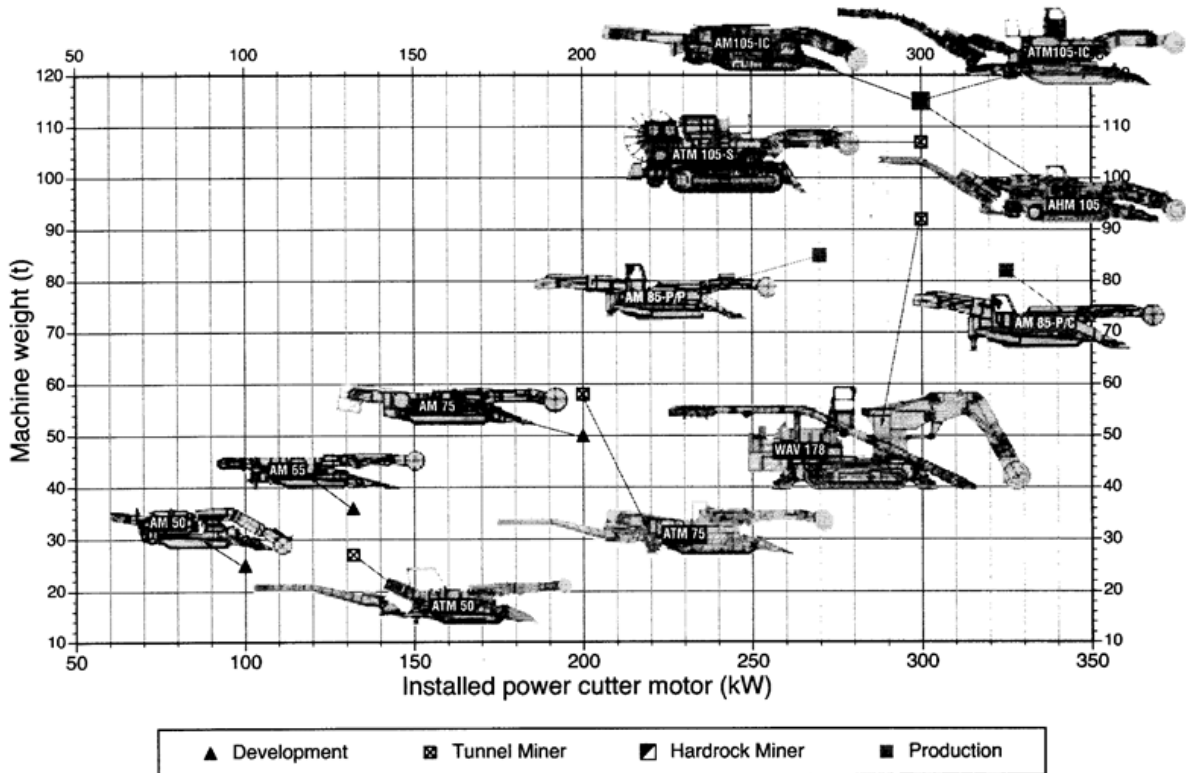


Abbildung 2: Übersicht TSM-Typen der Fa. VOEST-ALPINE Bergtechnik

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 MN/m<sup>2</sup> (=100 MPa) geschnitten werden. Für die weiche Schichten wird ein Längsschneidkopf vorgehalten.

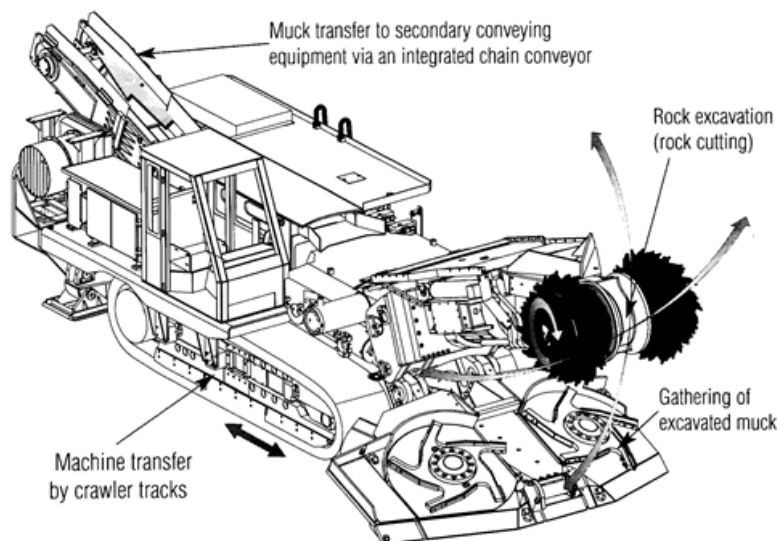


Abbildung 3: Alpine Tunnel Miner ATM 75

**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. Schrämprofil (Teleskop ausgefahren):  $\leq 30 \text{ m}^2$
- max. Schrämhöhe: 5.060 mm
- max. Schrämbreite: 7.600 mm
- Unterschnitt: 280 mm

**2.2.3 Tabellen und Formeln zur Ermittlung der Vortriebsleistung****❖ 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 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.

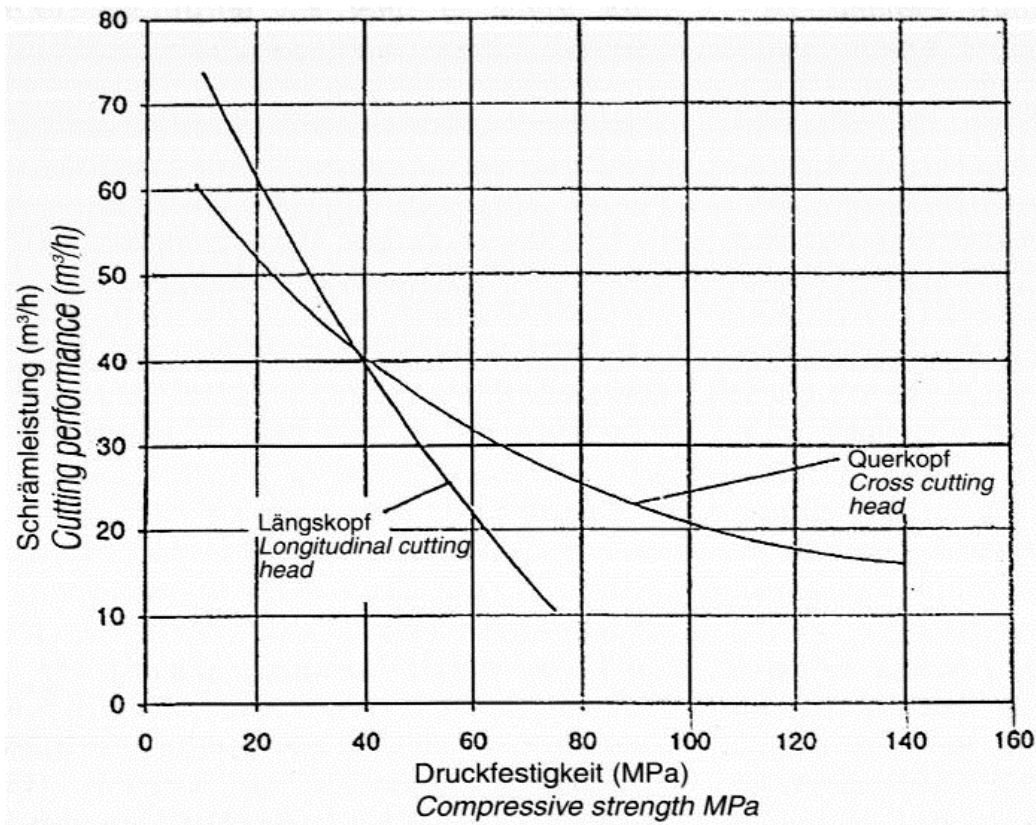


Abbildung 4: Ermittlung der Bruttoschrämleistung

❖ **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 Tabelle 3 dargestellt. Der Schutterbetrieb liegt beim Fräsvortrieb nicht am kritischen Weg, 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 zusammen<sup>3</sup>:

- reine Fräszeit  $t_{RF}$ :

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

$Q_{fest}$  Ausbruchsvolumen [m<sup>3</sup>]

$q_{RF}$  Schneidleistung [m<sup>3</sup>/h]

<sup>3</sup> vgl.: Rainer Thöni, Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Sprengvortrieb und Fräsvortrieb; Diplomarbeit Innsbruck, März 1991



- 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 kalkulatv ein zweimaliges Umstellen der TSM mit 0,2 h je Umstellvorgang (siehe Tabelle 2) angesetzt.

$$t_U = 2 * 0,2 = 0,4h \text{ pro Abschlag} \quad [2] \text{ Ermittlung der Umstellzeit}$$

- Meißelaustauschzeit  $t_M$ :

Die Kontrolle und Wartung der Meißel schlägt sich mit  $f_m = 10\%$  der reinen Fräszeit zu Buche (siehe Tabelle 2 in Kapitel 1.3).

$$t_M = f_m * t_{RF} \quad [3] \text{ Ermittlung der Meiseltauschzeit}$$

### 2.2.4 Ermittlung der Vortriebsleistung

Die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Vortriebsleistung wird beispielhaft für die Vortriebsklasse 6/3,80 erklärt.

- reine Fräszeit  $t_{RF}$

Das Ausbruchsvolumen wird als Produkt der Querschnittsfläche und der Abschlagslänge berechnet.

$$\text{Abschlagslänge } a = 1,15 \text{ m} \quad (\text{siehe Tabelle 1})$$

$$\text{Querschnittsfläche } A = 54,81 \text{ m}^2 \quad (\text{siehe Tabelle 1})$$

$$\text{Ausbruchsvolumen } Q_{fest} = 54,81 \text{ m}^2 \times 1,15 \text{ m} = 63,03 \text{ m}^3_{fest}$$

Die Schneidleistung wird über den Zusammenhang von Bruttoschneidleistung und Druckfestigkeit des Gebirges (siehe 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 Tabelle 1).

$$\text{Annahme einer mittleren Druckfestigkeit: } 24 \text{ MPa}$$

$$\text{Bruttoschneidleistung } q_{RF} \text{ (siehe Abbildung 4)} \quad 48 \text{ m}^3/h$$

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

$$t_{RF} = \frac{Q_{fest}}{q_{RF}} = \frac{63,03}{48} = 1,31h \text{ pro Abschlag}$$

- Umstellzeit  $t_U$

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

$$t_U = 0,40h \text{ pro Abschlag}$$

- Meißelaustauschzeit  $t_m$

Die Meißelaustauschzeit  $t_M$  wird mit der Formel [3] ermittelt.

$$t_M = f_m * t_{RF} = 0,10 * 1,31 = 0,13h \text{ pro Abschlag}$$

- Fräszeit  $t_F$

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

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

- 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 kalkulatив ein Verhältnis von Fräszeit  $t_F$  zu Sicherung  $t_S$  mit 41%/59% angenommen (siehe Tabelle 3).

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

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

- Gesamtdauer  $t_G$

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

$$t_G = t_F + t_S = 1,84 + 2,65 = 4,49h \text{ pro Abschlag}$$

- Vortriebsleistung

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

$$\text{Zeitbedarf pro Abschlag: } 4,49 \text{ h}$$

$$\text{Abschläge pro Arbeitstag (AT): } 24,0 \text{ h} / 4,49 \text{ h} = 5,34 \text{ Abschläge/AT}$$

$$\text{Abschlagslänge: } 1,15 \text{ m/Abschlag}$$

- Vortriebsleistung pro Arbeitstag:

$$5,34 \text{ Abschläge/AT} * 1,15 \text{ m/Abschlag} = \mathbf{6,14 \text{ m/AT}}$$

2.2.5 Ermittlung der Vortriebsleistung

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

Tabelle 5: Ermittlung der Vortriebsleistung

❖ Darstellung der Vortriebsleistung

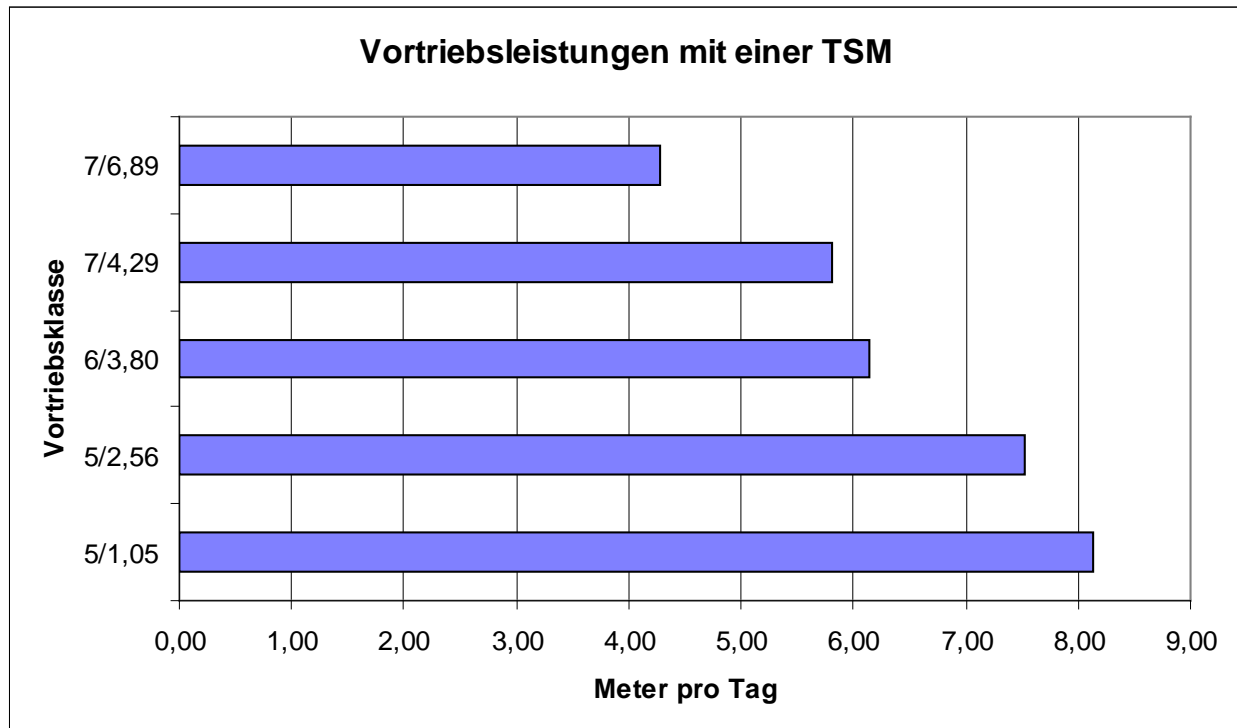


Abbildung 5 Vortriebsleistungen in Meter pro Tag

**2.2.6 Ermittlung des Schutterkonzeptes**

Der Schutterbetrieb liegt beim TSM-Vortrieb nicht am kritischen Weg, da in diesem 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 m<sup>3</sup> (ÖBGL-Nr. H.5.52) sowie nachstehend angeführtem knickgelenkten Muldenkipperfabrikat:

Atlas Copco MT 2000	
Motorleistung [kW]	224
Muldeninhalt [m <sup>3</sup> ]	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.

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

❖ **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	v = 12 km/h; l = 80 m	24 s
Laden	Annahme	15 s
Rückfahrt zum Transportgerät	v = 8 km/h; l = 80 m	36 s
Entladen	Annahme	10 s
Zykluszeit		85 s (=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
erf. Schaufel (bei $f_{\text{füll}}=80\%$ )	$48,0 \text{ m}^3/\text{h} * 1,65 / (42 \text{ LS}/\text{h} * 0,80)$	2,36 m <sup>3</sup>

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

**Der Radlader (Schaufelinhalt 2,40 m<sup>3</sup>) sollte den knickgelenkten Muldenkipper mit 4 bis 6 Ladespielen beladen:**

$$10,80 \text{ m}^3\text{-Muldeninhalt} / 2,40 \text{ m}^3\text{-Schaufelinhalt} * 80\% = 5,6 \text{ LS} / \text{Mulde}$$

⇒ **gewähltes Transportgerät: AC MT 2000** (Muldenkipper mit 10,8 m<sup>3</sup>-Muldeninhalt)

- erforderl. Massenabfuhr:

$$48,0 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} * 1,65 = 79,2 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$$

Lagerungsdichte  $D = 2,65 \text{ t}/\text{m}^3$ , Schüttdichte von  $\rho_s = 1,61 \text{ t}/\text{m}^3$  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 m<sup>3</sup>

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

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

Die Ladeleistung liegt somit knapp über der Schrämlleistung, daher ist die gewählte Gerätekonstellation in diesem Fall in Ordnung.

❖ **Geräteleistung der Muldenkipper**

Beladen	$10,80 \text{ m}^3 / (2,40 \text{ m}^3 * 0,80) \approx 6 \text{ LS} * 1,42 \text{ min}/\text{LS}$	8,6 min
Hinfahrt	$v = 20 \text{ km}/\text{h}; l = 3,5 \text{ km}$	10,5 min
Entladen	Annahme	2,0 min
Rückfahrt	$v = 35 \text{ km}/\text{h}; l = 3,5 \text{ km}$	6,0 min
<hr/>		
Zykluszeit		27,1 min

Zur Kontrolle wird überprüft, ob die zulässige Nutzlast eingehalten wird:

$$6 \text{ LS} * 2,40 \text{ m}^3 * 80\% * 1,61 \text{ t}/\text{m}^3 = 18,5 \text{ t} < 20,0 \text{ t}$$

- Bestimmung der erforderlichen Anzahl an Mulden:  
Umlaufzeit:  $10,5 + 6,0 + 2,0 = 18,5$  min  
Beladezeit: 8,6 min  
Muldenanzahl = Umlaufzeit / Beladezeit + 1 =  $18,5 \text{ min} / 8,6 \text{ min} + 1 = 3,2$  Mulden  
⇒ **es sind 4 knickgelenkte Muldenkipper Atlas Copco MT 2000 erforderlich**
- Nachweis der Stehzeitbedingung des „Schlüsselgerätes“ Tunnelradlader bzw. TSM

$$n * Q_{tr} \geq Q_{la} \quad [4] \text{ Stehzeitbedingung}$$

n Anzahl der eingesetzten Transportfahrzeuge

$Q_{tr}$  Leistung des einzelnen Transportfahrzeuges [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$Q_{la}$  Leistung des Ladegerätes [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

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

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

$$Q_{tr} = 4 * 23,9 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 95,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$$

$$\Rightarrow \text{theor. Verfuhrleistung } \mathbf{95,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}} > \text{Ladeleistung } \mathbf{80,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}}$$

$$> \text{Fräsleistung } \mathbf{79,2 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}}$$

## 2.3 Kostenermittlung

### 2.3.1 Geräte- und Personalkosten im Mehrschichtbetrieb

Aufbauend auf der 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.

#### ❖ *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:

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

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

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

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

- 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:

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

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

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

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

#### ❖ *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 Leistungsrechnungen für den mechanischen Vortrieb mittels TSM getroffen.

Folgende Geräte kommen in der Kalotte für den 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 m<sup>3</sup>  
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
Dieselposten:	0,85 €/l
Stromkosten:	0,22 €/kWh
MLK: (Mittellohnkosten)	42,50 €/h

<b>ÖBGL-Nr.:</b>	<b>H.2.00.2040</b>		
<b>Gerät:</b>	<b>TSM Querschneidkopf mit Ladetisch und Kettenf.</b> (ATM 75)		
charakt. Wert:	<b>349 kW inst. Leistung</b>		
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
<b>Σ:</b>			<b>94.441,55 €/Mo</b>
Umlage auf 1 Leistungsstunde:	$94.441,55 / 212$	=	446,41 €/h
Lohnkosten:	$42,5 * 1,10$	=	46,75 €/h
<b>Σ:</b>			<b>493,16 €/h</b>

### TSM - Kosten pro m<sup>3</sup>-Fräsbetrieb:

493,16 €/h : 79,2 m <sup>3</sup> <sub>lose</sub> /h	=	6,23 €/m <sup>3</sup> <sub>lose</sub>
493,16 €/h : 48,0 m <sup>3</sup> <sub>fest</sub> /h	=	<b>10,27 €/m<sup>3</sup><sub>fest</sub></b>



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

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

### Kosten pro m<sup>3</sup>-Schutterbetrieb:

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

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

- **Kostenzusammenstellung für den Fräs- und Schutterbetrieb:**

Kosten pro m <sup>3</sup> -Fräsbetrieb	10,27 €/m <sup>3</sup> <sub>fest</sub>
Kosten pro m <sup>3</sup> -Schutterbetrieb	12,23 €/m <sup>3</sup> <sub>fest</sub>
zzgl. anteilige Personalkosten (2 Mann x 42,5 €/h : 48,0 m <sup>3</sup> <sub>fest</sub> /h)	1,77 €/m <sup>3</sup> <sub>fest</sub>
<b>Σ Kosten pro m<sup>3</sup>-Fräs- und Schutterbetrieb:</b>	<b>24,27 €/m<sup>3</sup><sub>fest</sub></b>

## **3 Verzeichnisse**

### **3.1 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Vortriebsklassenmatrix für zyklischen Vortrieb.....	3
Abbildung 2: Übersicht TSM-Typen der Fa. VOEST-ALPINE Bergtechnik ...	6
Abbildung 3: Alpine Tunnel Miner ATM 75 .....	6
Abbildung 4: Ermittlung der Bruttoschrämleistung .....	8
Abbildung 5 Vortriebsleistungen in Meter pro Tag .....	11

### **3.2 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Eingangsparameter Geologie .....	3
Tabelle 2: Eingangsparameter Teilschnittmaschine.....	4
Tabelle 3: Eingangsparameter Sicherungsarbeiten .....	4
Tabelle 4: Personaldisposition beim Fräsvortrieb.....	5
Tabelle 5: Ermittlung der Vortriebsleistung .....	11
Tabelle 6: technische Daten des Muldenhinterkippers.....	12

### **3.3 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