

Projektarbeit

Leistungs- und Kostenermittlung im maschinellen Tunnelbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Theresa Prem

Matr.Nr.: 1025020

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Dipl.-Ing. **Melanie Piskernik**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Bereich Baubetrieb und
Bauwirtschaft

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

Wien, im Oktober 2016

Kurzfassung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Leistung	7
2.1	Penetration	7
2.1.1	Prognosemodell nach Gehring	7
2.1.2	Penetrationsermittlung der NTNU Trondheim	8
2.1.3	Prognosemodell der Colorado School of Mines	8
2.2	Werkzeugverbrauch	9
2.3	Baubetriebliche Modellierung	9
3	Logistik	11
3.1	Material	11
3.2	Personal	11
4	Kosten	13
4.1	Gerätekosten	13
4.2	Personalkosten	13
5	Anwendungsbeispiel	15
5.1	Eingangswerte	15
6	Zusammenfassung	17

Kapitel 1

Einleitung

Der maschinelle Tunnelbau, auch kontinuierlicher Vortrieb (KV), hat sich in den letzten Jahren aufgrund der technologischen Neuheiten enorm entwickelt. Allerdings müssen die Randbedingungen stimmen um ein wirtschaftliches Ergebnis, speziell im Vergleich zum zyklischen Vortrieb (ZV), zu erzielen.

Vorteile:

- sehr hohe Vortriebsleistung möglich
- exaktes Ausbruchsprofil
- niedriger Personalaufwand
- gute Arbeitsbedingungen und Sicherheit
- Mechanisierung und Automatisierung des Vortriebs

Nachteile:

- bessere geologische Vorauserkundungen und Informationen als beim zyklischen Vortrieb
- hohe Investitionskosten rechnen sich erst bei längeren Strecken
- lange Vorlaufzeit für Planung und Bau der Maschine
- Kreisprofil
- Limitierung der möglichen Kurvenradien und Aufweitungen
- Detaillierte Planung notwendig
- Anpassung an unterschiedliche Gesteinsvorkommen und hohen Wassereintritt nur bedingt möglich
- Anlieferung der Maschine zum Tunnel

Es ist eine sehr gute Planung nötig um die Vorteile optimal zu nutzen und die Nachteile bestmöglich zu minimieren. Nur wenn diese Punkte beachtet werden ist ein effizienter Einsatz möglich. Einteilung der Vortriebssysteme (nach DAUB):

Tunnelbohrmaschinen (TBM) Das Grundprinzip der TBM besteht darin, dass eine Verspannung mit dem standfesten Gebirge erzeugt wird und Hydraulikzylinder den Bohrkopf an die Ortsbrust drücken. Durch die Rotation des Bohrkopfs und den Druck der Zylinder lösen die Disken das anstehende Gebirge. Diese Chips (Bohrklein) werden durch Räumerkammern auf das Maschinenförderband transportiert und weiter Obertage befördert. Die Kolbenlänge der Zylinder bestimmt den maximalen Hub (vergleichbar mit der Abschlagslänge beim zyklischen Vortrieb). Nachdem ein Hub aufgefahren wurde, wird die Maschine umgesetzt um von neuem mit dem Bohrvorgang zu beginnen. Parallel zum Bohren wird der Tunnel mit Tübbingen ausgekleidet. Ein Tübbingring besteht aus ca. 6 Steinen (je nach System) und hat die Breite eines Hubs. Die Auskleidung übernimmt die Sicherung des Tunnels. Aufgrund der hohen Ansprüche an die Tübbinge (gute Betonqualität usw.) ist es meist nicht notwendig zusätzlich eine Innenschale zu betonieren, d.h. der Tunnelausbau ist einschalig.

- Einsatz im standfesten Festgestein
 - aktive Stützung der Ortsbrust nicht notwendig (technisch auch nicht möglich)
 - voller Kreisquerschnitt wird aufgefahren
1. TBM ohne Schild (TBM-O): Maschine verspannt sich radial mit Gripperplatten gegen die Ausbruchslaibung und bringt so an den Anpressdruck auf den Bohrkopf auf
 2. Aufweitungsmaschine ohne Schild (TBM-A): vergrößern einen zuvor hergestellten Pilotstollen, im Fall von Störzonen können Maßnahmen vom Pilotstollen durchgeführt werden
 3. TBM mit Schild (TBM-S): Einsatz im Festgestein mit geringer Standzeit bzw. nachbrüchigem Fels - Maschine stützt sich am Schildmantel ab, der auch zum Schutz des Ausbaus (Tübbinge) dient

Schildmaschinen (SM)

- Einsatz im Lockergestein, auch im Grundwasser
- Voll- oder Teilschnittabbau (je nach Maschinentyp)
- Stützung der Ortsbrust und des Hohlraums notwendig durch mechanische Stützung, Druckluftbeaufschlagung, Flüssigkeitsstützung oder Erddruckstützung

Kapitel 2

Leistung

Die Leistungsermittlung stellt eine wesentliche Basis für die weitere Kostenabschätzung eines bautechnischen Projektes dar. Besonders im Tunnelbau ist diese Abschätzung der Vortriebsleistung von großer Bedeutung. Die drei Haupteinflussfaktoren sind laut [2]:

- Gestein und Gebirge: geologisch und felsmechanische Parameter
- Maschinenparameter: TBM-Technik
- Baubetrieb: Logistik, Bedienung und Wartung

Die Umrechnung von Netto- auf Bruttovortriebsleistung wird über den sogenannten Ausnutzungsgrad gemacht.

2.1 Penetration

Penetration beschreibt die Eindringtiefe der Bohrwerkzeuge je Umdrehung des Bohrkopfes. Die typische Einheit ist Millimeter pro Umdrehung [mm/U]. Durch die Rotation und die gleichmäßige Andruckkraft (i.d.R. 200kN) werden die Rollenmeissel in konzentrischen Bahnen an die Ortsbrust gedrückt. lösen die sogenannten Chips ab.

In den folgenden Punkten werden die gängigsten Berechnungsmodelle aufgezeigt.

Gesteinslösevorgang

2.1.1 Prognosemodell nach Gehring

Dieses empirische Modell ist weitverbreitet aufgrund seiner unkomplizierten Anwendung. Eingang finden die einaxiale Druckfestigkeit und die Gefügeeigenschaften. Die Druckfestigkeit ist die einzig notwendige Laboruntersuchung. Falls diese nicht möglich ist, kann sie - gleich wie die Gefügeeigenschaften - von den Geologen abgeschätzt werden. Somit kann mit diesem Berechnungsmodell eine Penetration zu einem sehr frühen Zeitpunkt des Projekts gerechnet werden.[1] Den Zerspaltungsvorgang beschreibt Gehring in 4 Phasen:

Eindringen der Schneidrolle und erzeugen der Zermalmungszone

Bildung von Zugrissen aus der Zermalmungszone

Spannbildung nach Erreichen des überkritischen Bruchzustandes

Lösen des Spans und Spannungsabbau

Annahmen für die Eingangsparameter: Schneidbahnabstand $s = 80\text{mm}$, Diskendurchmesser 17Zoll (430mm), und die Andruckkraft je Diske von 200kN

$$p = 4 * F_N / \sigma_d * (k_1 * k_2 * \dots) \quad (2.1)$$

mit

p ... Penetration [mm/rev]

F_N ... mittlere Andruckkraft (200kN)

σ_d ... einaxiale Druckfestigkeit [N/mm²]

k ... Korrekturfaktor

Die Berechnung der Korrekturfaktoren würde den Umfang dieser Arbeit überschreiten und somit kommt die vereinfachten Formel zum tragen.

$$P = 4 * 200 / \sigma_d \quad (2.2)$$

2.1.2 Penetrationsermittlung der NTNU Trondheim

In diesem empirischen Modell ist die einaxiale Druckfestigkeit in erster Linie kein wesentlicher Parameter. Es wurde für nordische Gesteine entwickelt und anschließend mit Standard-Gesteinsparametern verknüpft, um es für verschiedene Gesteine anwendbar zu machen. Somit ist es die meist angenommene empirische Methode in Europa um Prognosen zu erstellen. Die notwendigen Untersuchungen sind zum einen die Bohrbarkeit des Gesteins (liefert DRI) und zum anderen die Gefügeeigenschaften des Gebirges (Abschätzung der Trennflächenorientierung und -abstände). Weiters werden Maschinendaten berücksichtigt wie Form, Anordnung und Größe der Werkzeuge, sowie die Rollengeschwindigkeit, verfügbare Andruckkraft und Maschinendynamik.

äquivalenter Gebirgsfaktor

$$k_{ekv} = k_{s-tot} * k_{DRI} * k_{por} \quad (2.3)$$

äquivalente Andruckkraft

$$M_{ekv} = M_B * k_d * k_a \quad (2.4)$$

Penetration

$$i_0 = (M_{ekv} / M_1)^b \quad (2.5)$$

2.1.3 Prognosemodell der Colorado School of Mines

Dieses Modell dient in erster Linie zur Effizienzoptimierung und ist sinnvoll in seiner Anwendung wenn es um die Optimierung des Bohrkopfdesigns geht. Eingangswerte sind das Bohrkopfprofil und die Gesteinseigenschaften.

resultierende Schneidkraft

$$F_t = P \check{r} * \Phi * R * T / (1 + \Psi) \quad (2.6)$$

$$\Phi = \arccos((R - p) / R) \quad (2.7)$$

2.2 Werkzeugverbrauch

2.3 Baubetriebliche Modellierung

Kapitel 3

Logistik

Die Logistik ist ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil um wirtschaftlich gute Ergebnisse zu erzielen. Das Bewältigen der großen Massen, gute Personaleinsatzplanung ist von großer Bedeutung und soll exemplarisch in den nächsten Punkten erläutert werden.

3.1 Material

Der Transport des Materials kann radgebunden, gleisgebunden oder über Förderbänder geschehen. Die Geschwindigkeit des Bandes wird mit 1 km/h angenommen.

3.2 Personal

Bei Tunnelbauprojekten mit TBM-Vortrieb ist der 4/3-Dekadenbetrieb üblich. Somit ergibt sich die monatliche Schichtarbeitszeit:

$$AZ_{Schicht} = 3 \text{ Drittel} * 8h/AT * 7AT * 4,33 \text{ Wo/Mo} = 727,44h/Mo \quad (3.1)$$

Kapitel 4

Kosten

Wirtschaftliche

4.1 Gerätekosten

klöaskfdöakdfsjskdösa

4.2 Personalkosten

Kapitel 5

Anwendungsbeispiel

Wirtschaftliche

5.1 Eingangswerte

klöaskfdöakdfsjskdösa

Kapitel 6

Zusammenfassung

asfdjklö

Literaturverzeichnis

- [1] Leitner. „Baubetriebliche Modellierung der Prozesse maschineller Tunnelbau - Vortriebe im Festgestein“. Diss. Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck, 2004.
- [2] K. Thuro. *Grundlagen der Penetrations- und Verschleißprognose beim TBM-Vortrieb*. 2011.