

## Zum Stand geotechnischer Leistungs- und Verschleißprognosen beim Untertagebau im Festgestein

### Geotechnical Methods for Predicting Excavation Rate and Tool Wear in Hardrock Tunnelling – an overview over today's possibilities

Ralf J. Plinninger<sup>1</sup> & Kurosch Thuro<sup>2</sup>

#### Zusammenfassung

Unabhängig vom gewählten Vortriebskonzept stellen beim Tunnelvortrieb im Festgestein die erreichte Vortriebsleistung und der angetroffene Werkzeugverschleiß wesentliche Parameter für den wirtschaftlichen Erfolg eines Projektes dar. Aus dem Feld der Ingenieurgeologie können dabei fruchtbare Beiträge für die Bewertung und Prognose von Netto-Löseleistung (Bohr-, Fräs-, Schneid- und Sprengbarkeit) und qualitativem sowie quantitativem Werkzeugverschleiß eingebracht werden. Der vorliegende Beitrag stellt einige der hierfür zum gegenwärtigen Stand der Forschung eingesetzten Methoden und Vorgehensweisen zusammen.

#### Abstract

The achieved advance rate and encountered tool wear are of crucial importance for the success of any tunnelling project in hard-rock conditions – independent of the chosen tunnelling method. Engineering geologists can contribute a valuable part to the evaluation and prediction of net rock excavation rates (drilling- & cutting rate, blasting parameters) and the qualitative as well as quantitative tool wear. The presented paper gives a summary on methods and procedures used in this field at the present state.

#### 1 Einführung: Das interdisziplinäre Gebiet der Gebirgslösung

Bei der untertägigen Gebirgslösung handelt es sich um ein sehr komplexes System mit Wechselbeziehungen zwischen dem auszubrechenden Gebirge, den eingesetzten Maschinen und Werkzeugen sowie zahlreichen nicht zu vernachlässigenden logistischen Faktoren, wie dem Ausbildungsstand des Personals oder Wartungszustand und Ersatzteilversorgung der Maschinen (Abb.1). Jegliche Beschäftigung mit Problemen der Gebirgslösung erfordert daher eine präzise Beobachtung aller relevanter Verhältnisse vor Ort und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit aller beteiligten Fachgebiete.

#### 2 Parameter zur Leistungs- und Verschleißbeschreibung

Für untertägige Hohlraumbauten in Festgesteinen stellen der konventionelle Bohr- und Sprengvortrieb, der Teilschnittmaschinenvortrieb sowie maschinelle Vortriebsverfahren mit TBM oder Hartgesteins-Schildmaschinen die gebräuchlichsten Gebirgslösungsverfahren dar.

Für die eindeutige Beschreibung der Nettolöseleistung und des Werkzeugverschleißes haben sich die in Tab. 1 zusammengestellten Parameter durchgesetzt.

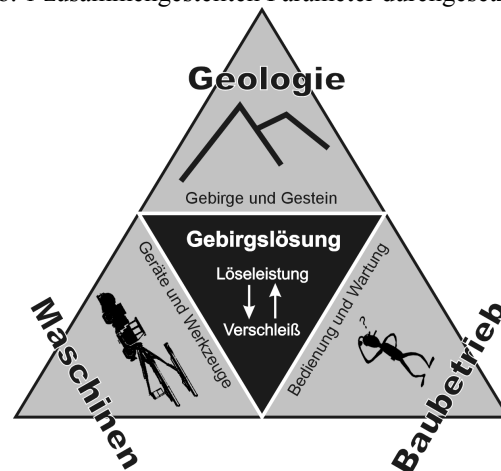


Abb. 1: Schemazeichnung der Einflussbereiche auf den Gebirgslösungsvorgang (PLINNINGER, 2002).

Fig. 1: Scheme for the complex system of rock excavation and the main influencing factors.

Tab. 1: Parameter zur Beschreibung von Löseleistung und Werkzeugverschleiß.

Tab. 1: Parameters describing excavation performance and tool wear for different rock excavation methods.

Vortriebsmethode	konventioneller Vortrieb		TSM-Vortrieb	TBM-Vortrieb
Leistungs-kriterium	Bohrfortschritt [m/min]	Sprengwirkung [ ]	Schneidleistung [m³/h]	spezifische Penetration [mm/U]
Materialverbrauchs-kriterium	Bohrkronenstandlänge [m/Krone]	Sprengmittelverbrauch [kg/m³]	Meißelverschleiß [Meißel/m³]	Diskensstandlänge [km/Diske]
Verschleißart-kriterium	Bohrkronen-verschleißform	-	Meißel-verschleißform	Diskens-verschleißform

<sup>1</sup> Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Ralf Plinninger, Bernd Gebauer Ingenieur GmbH, Nymphenburger Straße 136, D-80636 München / Deutschland. Email: [ralf@plinninger.de](mailto:ralf@plinninger.de)

<sup>2</sup> Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Kurosch Thuro, Ingenieurgeologie ETH Zürich, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich / Schweiz. Email: [thuro@erdw.ethz.ch](mailto:thuro@erdw.ethz.ch)

### 3 Klassifizierungssysteme für Leistungs- und Verschleißparameter

Ausgehend von den in Tab. 1 dargestellten Parametern sind in den letzten Jahren an der ETH Zürich (THURO, 2002) und der TU München (PLINNINGER, 2002) homogene Klassifizierungsschemata erarbeitet worden, die eine begriffliche Fassung von Löseleistung und Werkzeugverbrauch sowie eine praxistaugliche optische Einstufung von Verschleißerscheinungsformen bei Werkzeugen ermöglichen. Die Darstellung dieser Systeme würde den hier zur Verfügung stehenden Rahmen bei weitem sprengen, weswegen auf die ausführlichen Ausführungen in THURO & PLINNINGER (2002) verwiesen werden darf.

### 4 Ingenieurgeologische Prognosemöglichkeiten für Löseleistung und Verschleiß

Für die Untersuchung der Gebirgslösung muss zunächst zwischen einer gesteinsbedingten „Basis-Gebirgslösbarkeit“ und deren Beeinflussung durch den Gebirgscharakter unterschieden werden, welcher vor allem durch das Trennflächengefüge bestimmt wird.

Bei einem möglichst homogenen und isotropen Gebirge können einige als signifikant erkannte felsmechanische Kennwerte direkt mit den Leistungsparametern korreliert werden:

Die *spezifische Zerstörungsarbeit* erwies sich als hochsignifikanter Parameter bezüglich der Bohrgeschwindigkeit, dem spezifischen Sprengstoffverbrauch, der Fräs- und der Schneidgeschwindigkeit (Abb. 2).

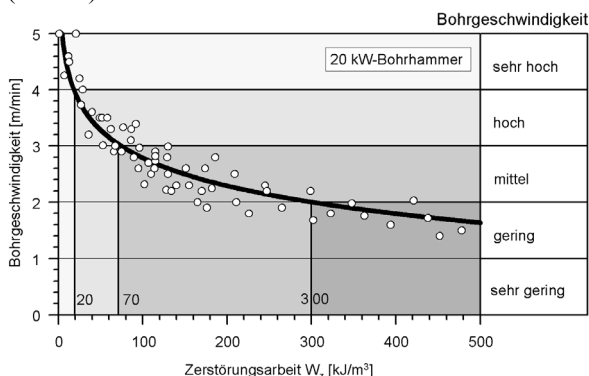


Abb. 2: Bohrgeschwindigkeit, aufgetragen gegen die Zerstörungsarbeit (THURO, 2002).

Fig. 2: Drilling velocity, plotted against the specific destruction work.

Die *einaxiale Druckfestigkeit* erwies sich als signifikanter Parameter bezüglich der oben genannten Leistungsparameter. Als günstig hat sich herausgestellt, dass die Zerstörungsarbeit und die einaxiale Druckfestigkeit im selben Versuch ermittelt werden können. Kommt der einaxiale Druckversuch z. B. wegen niedriger Bohrkernqualität nicht in Frage, so können Druckfestigkeitswerte über den Punktlastversuch abgeschätzt werden.

Die *indirekte Zugfestigkeit (Spaltzugfestigkeit)* erwies sich ebenfalls als signifikanter Parameter in Hinblick auf die oben genannten Leistungsparameter. Da sich bisher jedoch kein Unterschied zum Signifikanzniveau

der *einaxialen Druckfestigkeit* ergab, wurde häufig aus praktischen (Kosten-) Gründen auf die Ermittlung von indirekten Zugfestigkeiten verzichtet.

Zahlreiche *geotechnische Verschleißindizes* (z. B. der Äquivalente Quarzgehalt, der Gesteinsabrasivitätsindex RAI, der Schmatzek-Verschleiß Index  $F_{Schim}$  sowie einige auf *Modellversuchsverfahren* beruhenden Indexparameter (z. B. der Cerchar-Abrasivitätsindex CAI oder der Cutter Life Index CLI) erwiesen sich als hochsignifikante bzw. signifikante Parameter zur Prognose des mengenmäßigen Werkzeugverschleißes (Abb.3).

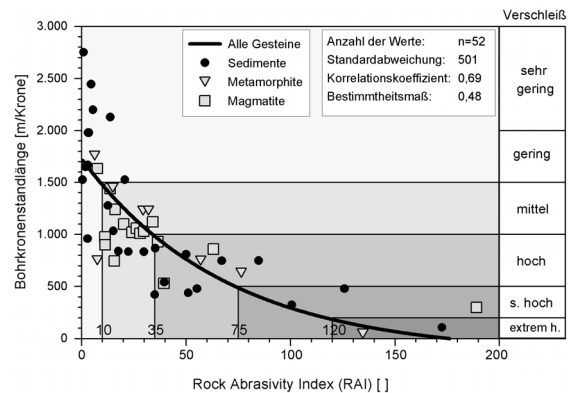


Abb. 3: Bohrkronenstandlänge, aufgetragen gegen den Gesteinsabrasivitätsindex RAI (Plinninger, 2002).

Fig. 3: Drill bit lifetime, plotted against the geotechnical Rock Abrasivity Index (RAI).

Auf Basis der in dieser Arbeit erwähnten Parameter der Basis-Gebirgslösbarkeit lässt sich bereits heute eine brauchbare Prognose für Bohrgeschwindigkeit und Bohrkronenverschleiß beim Bohr- und Sprengvortrieb durchführen. Für den Vortrieb mit Teilschnittmaschinen ist dies für die Fräsleistung bereits gut, für den Verschleiß zumindest bedingt möglich. Durch die große Varianz in den TBM-Typen (Leistung, Bauausführung, Schneidradgeometrie, Werkzeugbestückung) erscheint eine Vorhersage der Schnittgeschwindigkeit auf der Basis geotechnischer Kennwerte und im Hinblick auf den starken geologischen Einfluss (Trennflächengefüge, Anisotropie, Festigkeitsunterschiede) zur Zeit nur bedingt machbar.

### 5 Literaturverzeichnis

THURO, K. (2002): Geologisch-felsmechanische Grundlagen der Gebirgslösung im Tunnelbau. – Münchner Geologische Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie, XIV + 158, in Druck.

THURO, K. & PLINNINGER, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Leistungs- und Verschleißparametern im Tunnelbau. – in: DGGT (ed.): Taschenbuch für den Tunnelbau 2003, 27: 62-126.

PLINNINGER, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein. – Münchner Geologische Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie, B17, XI + 146.