

Teilschnittmaschinen als alternatives Vortriebsverfahren im innerstädtischen Tunnel- und Stollenbau – Chancen und Risiken

Roadheaders as an alternative excavation method
in urban tunnelling – chances and risks

Ralf J. Plinninger¹

Zusammenfassung

Insbesondere im innerstädtischen Tunnel- und Stollenbau stellen Teilschnittmaschinen eine interessante Alternative zum herkömmlichen Bohr- und Sprengverfahren dar. Durch die sehr geringen Erschütterungsemissionen können damit Projekte realisiert werden, bei denen aufgrund sensibler Infrastruktur Sprengvortriebe von vorneherein ausgeschlossen oder erheblichen Leistungseinbußen unterworfen sind. Auch in Bezug auf die Profilhaltigkeit besitzt das Verfahren Vorteile gegenüber einem Sprengvortrieb. Da Teilschnittmaschinen jedoch deutlich sensibler gegenüber den Eigenschaften des Gebirges (insbesondere Festigkeit, Zerlegungsgrad und Zähigkeit) reagieren, als dies beim Bohr- und Sprengvortrieb der Fall ist, müssen die damit verbundenen Risiken im Vorfeld der Projektrealisierung berücksichtigt und die wesentlichen beeinflussenden Gebirgseigenschaften hinreichend erkundet und dargestellt werden. Der vorliegende Beitrag fasst anhand umfangreicher Erfahrungen wesentliche Aspekte des Teilschnittmaschineneinsatzes zusammen und gibt Hinweise zur spezifischen Baugrundkundung im Vorfeld.

Schlüsselworte: Teilschnittmaschine, Erschütterungen, mixed-face-Verhältnisse, Baugrundkundung

Abstract

Especially in urban tunnelling the use of roadheaders presents an interesting alternative to conventional drill and blast excavation. The very low vibration emissions caused by a roadheader can effectively contribute to projects with sensible infrastructure where blasting might be prohibited or significantly limited. Especially if geodetical/computerized profile control systems are used, excavation with a roadheader may additionally provide a very precise profile which contributes especially to time and expenses for the application of a NATM shotcrete lining. However, the susceptibility of a roadheader operation to geological and geotechnical influences implies a significant risk potential to the application of this method. In order to limit risks connected to insufficient excavation performance and high tool wear rates, the most important rock mass features, such as intact rock strength, rock toughness and rock fracturing have to be investigated carefully in the course of the preliminary site investigations. This paper presents experiences with roadheader application, important influencing factors and their impact on roadheader excavation as well as practical suggestions for specific preliminary investigation measures.

Key words: Roadheaders, vibration, mixed-face-conditions, preliminary site investigation

1 Einleitung

Wesentliches Merkmal des Teilschnittverfahrens ist der Ausbruch des Gebirges in mehreren Teilarbeitsschritten unter Verwendung eines schwenkbar montierten, rotierenden Schneidkopfs. Als „Teilschnittmaschinen“ i. e. S. werden selbstfahrende Vortriebsgeräte bezeichnet, bei denen Gebirgslösungs- und Schutterprozess in einem Arbeitsablauf bewältigt werden können.

Aufgrund des weiterhin zyklisch verlaufenden Vortriebsablaufs wird das Verfahren den konventionellen Vortriebsverfahren und nicht den maschinellen Verfahren zugerechnet.

Je nach installierter Schrämkopfleistung und Gesamtgewicht werden dabei gemäß Tabelle 1 „leichte“ bis „überschwere“ Maschinen unterschieden.

Tab. 1: Leistungs- und Gewichtsklassen von Teilschnittmaschinen (nach: Lammer und Gehring, 1998).

Tab. 1: Roadheader Classification according to power and overall weight (according to Lammer and Gehring, 1998).

| Klasse | Schrämkopf-Leistung | Gewichtsbereich |
|---------------------|---------------------|-----------------|
| Leicht | 50 - 170 kW | 8 - 40 t |
| Mittelschwer | 160 - 230 kW | 40 - 70 t |
| Schwer | 250 - 300 kW | 70 - 110 t |
| Überschwer | 350 - 400 kW | > 100 t |

Bei jeder dieser Bauformen kann der Schneidkopf als sog. „Längsschneidkopf“ (Rotationsachse in Längsachse des Auslegers) oder als „Querschneidkopf“ (Rotationsachse rechtwinklig zur Längsachse des Auslegers) konzipiert werden (siehe auch Abb. 1).

¹ Dipl.-Geol. Dr.rer.nat Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, geotechnik@plinninger.de

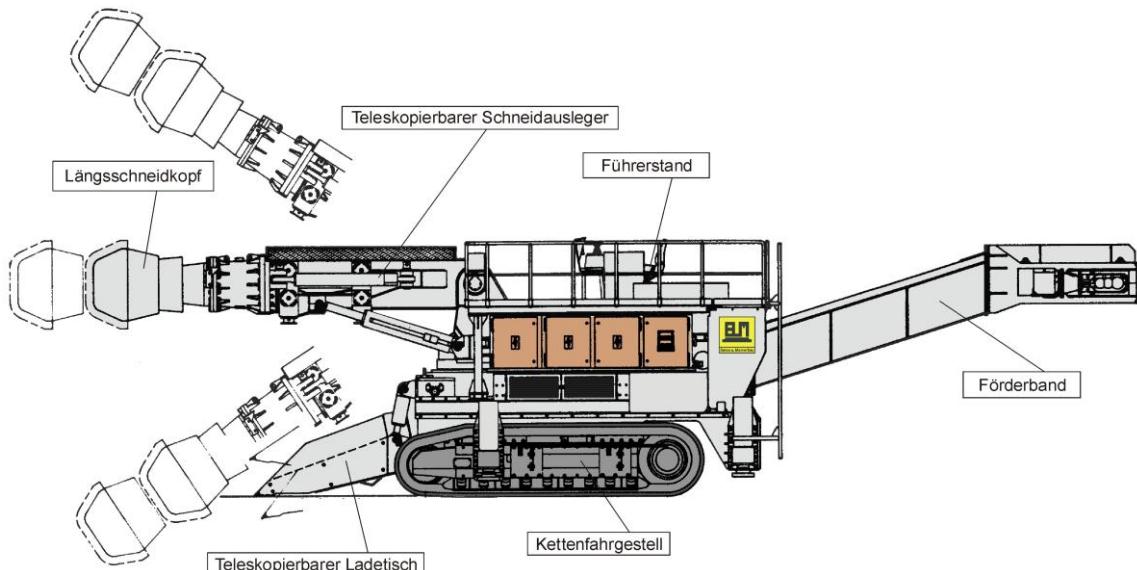


Abb. 1: Beispiel für eine schwere Teilschnittmaschine mit Längsschneidkopf, hier WIRTH T3.20 (300 kW).
 Fig. 1: Example for a heavy roadheader with longitudinal cutterhead layout, type WIRTH T3.20 (300 kW).

2 Vorteile des Teilschnittverfahrens

2.1 Reduzierte Erschütterungen

Insbesondere bei innerstädtischen Projekten haben die sehr geringen Erschütterungsemissionen eines Vortriebs mit Teilschnittmaschine oft den Ausschlag für die Wahl dieses Vortriebsverfahrens gegeben. Vielfach konnten damit Tunnel aufgefahren werden, bei denen aufgrund von Schäden, Auflagen und/oder Beschränkungen (u. a. nicht einhaltbare Erschütterungsgrenzwerte, Nachtsprengverbote, o.ä.) ein Sprengvortrieb gescheitert, von vorneherein ausgeschlossen oder erheblichen Leistungseinbußen unterworfen war.

Grund für diese geringen Erschütterungen ist die von der Teilschnittmaschine über Schneidkopf und Meißel nur punktuell und über einen relativ langen Zeitraum (mehrere Stunden) eingetragene Energie zum Lösen eines Abschlags, während beim Sprengen die gesamte für einen Abschlag erforderliche Energiemenge innerhalb weniger Millisekunden umgesetzt wird.

Jüngstes Beispiel für ein Projekt, bei dem dieser Effekt zum Tragen kam, ist der erfolgreiche Teilschnittmaschinenvortrieb des Tunnels Sonnenburg / St. Lorenzen / Südtirol unter einer denkmalgeschützten Burgenlage aus dem 10. Jahrhundert. Während bei vorhergehenden Sprengungen in Folge ungünstiger Rahmenbedingungen (geringe Überlagerung < 40 m, anstehende Quarzphyllite mit steiler Lagerung, Gründung der Burgenlage direkt auf dem Fels) erhebliche Erschütterungen und z.T. bereits Schäden in der Bausubstanz aufgetreten waren, traten beim späteren Hauptvortrieb mit Teilschnittmaschine keine messbaren Erschütterungen in der Burgenlage auf.

Die in nachstehender Abbildung 2 dargestellten Messwerte des Herstellers SANDVIK aus den Vortrieben und Versuchen in Pozzano, Milchbuckeltunnel (Zürich), Metro Sydney, Metro Montreal und Erzberg zeigen eindrucksvoll die signifikant niedrigeren Schwinggeschwindigkeiten bei Einsatz einer schweren Teilschnittmaschinen gegenüber einem Sprengvortrieb.

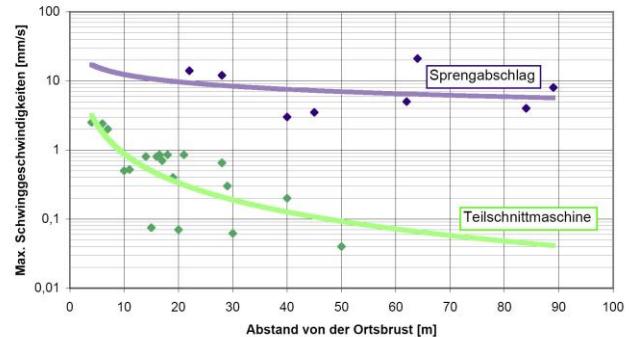


Abb. 2: Vergleich von Erschütterungs-Messwerten für Teilschnittmaschine und Sprengvortrieb nach Messungen der Fa. SANDVIK.

Fig. 2: Comparison of peak particle velocities emitted during roadheader and drill and blast operation according to vibration monitoring data of SANDVIK.

2.2 Bessere Profilhaltigkeit

Die Profilhaltigkeit beim NÖT-Vortrieb ist bautechnisch relevant, da sie signifikant den für die Erstellung der Außenhülle erforderlichen Zeitaufwand sowie den mengenmäßigen Verbrauch an Spritzbeton steuert. Einfluss auf diese Profilhaltigkeit bzw. das Überprofil haben insbesondere Geftüge und Zerlegungsgrad des Gebirges sowie die angewendete Gebirgslösungsmethode.

Da beim Fräsen mit Teilschnittmaschine kaum Energie in das Gebirge außerhalb des Ausbruchsrandes eingeleitet wird, erfolgt keine weitere (künstliche) Erweiterung des Trennflächenbestands bzw. keine weitere Verringerung von Reibung und Kohäsion entlang vorhandener Trennflächen. Das Tunnelprofil kann deshalb mit einer Teilschnittmaschine grundsätzlich genauer hergestellt werden, als dies selbst mit gebirgsschonenden Sprengverfahren möglich ist. Insbesondere bei Einsatz geodätischer Profilsteuerungssysteme können Profilgenauigkeiten von rd. $\pm 5\text{cm}$ und besser technisch realisiert werden.

Obwohl diese grundsätzlichen Tendenzen lange bekannt sind, lagen bislang keine systematischen Ergebnisse zur Quantifizierung dieses Effekts vor.

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Ruhr-Universität Bochum wurden 2006 die bei einem Straßentunnel in alpinen Molassefolgen mit einem Profilscanner (System DIBIT®) erhobenen Daten zur Profilhaltigkeit ausgewertet (Lenze, 2006). Da bei diesem Projekt sowohl Abschnitte mit Teilschnittmaschine als auch Abschnitte im Bohr-/Sprengvortrieb aufgefahren wurden, ließen sich geologische sowie technische Einflussfaktoren bewerten und der Einfluss verschiedener Faktoren quantifizieren.

Neben dem Einfluss der Schichtlagerung und des Trennflächenabstands auf das geologisch bedingte Überprofil konnte insbesondere auch ein signifikanter Einfluss des Vortriebsverfahrens herausgearbeitet werden (Abb. 3), der in den betrachteten Tonmergel- und Sandsteinfolgen und unter den spezifischen Rahmenumständen dieses Projekts auf einen rd. 1,5 bis 2,3-fach höheren Mehrausbruch beim Sprengvortrieb schließen lässt.

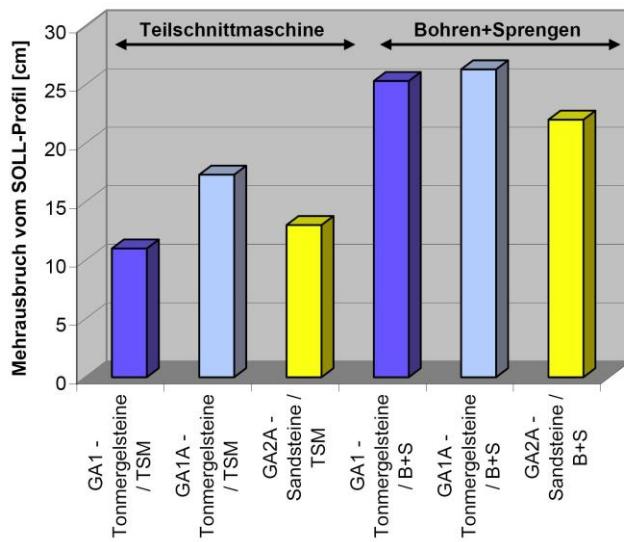


Abb. 3: Vergleich des spezifischen Mehrausbruchs bei Ausbruch mit Teilschnittmaschine (links) und Sprengausbruch (rechts) in identischen Tonmergel- bzw. Sandsteinformationen.

Fig. 3: Comparison of the specific overbreak by use of a roadheader (left) and drill&blast (right) in identical clay/marlstone- and sandstones formations.

3 Typische Einsatzbereiche

Teilschnittmaschinen werden vorwiegend für den Abbau von Gesteinen mit niedriger bis mittlerer Festigkeit eingesetzt. Bewährt hat sich das Verfahren vor allem in Regionen, die aus mehr oder minder homogenen Folgen nichtmetamorpher Sedimentgesteine aufgebaut werden, wie z. B.:

- Keuper-Sandsteine und Mergelsteine im süddeutschen Schichtstufenland (insbesondere Raum Nürnberg, Fürth),
- Oberkreide-Sandsteine und Mergelsteine im Ruhrgebiet (insbesondere Raum Bochum, Dortmund),

- Tertiäre Sand- und Mergelsteine des alpinen Molassebeckens (u. a. Süddeutschland, Österreich, Schweiz, insbesondere Lausanne, Genf, Zürich, Neuchatel),
- Karbon-Sandsteine im produktiven Karbon (Steinkohle-Bergbau)
- Salzbergbau (Kalibergbau in Mitteldeutschland, alpiner Steinsalzbergbau)

Einsätze von Teilschnittmaschinen in metamorphen Serien sind zwar in der Vergangenheit durchgeführt worden (u. a. Attiki Odos Motorway / Griechenland, Kraftwerk Premadio II / Italien, Metro Pusan, Los 210 / Korea, Erweiterung Tunnel Mont Cenis / Frankreich, Tunnel Sonnenburg / Italien), diese stellen jedoch aufgrund der generell widrigen ingenieurgeologischen Einsatzumstände eher Ausnahmefälle dar, bei denen andere Vortriebsverfahren grundsätzlich ausschieden.

4 Einsatzgrenzen und Einsatzrisiken

Der eingangs geschilderte Lösemechanismus bedingt, dass Teilschnittmaschinen sehr sensibel auf die Eigenschaften des zu lösenden Gebirges reagieren. Da - anders als beim Sprengen - während des Vortriebs die zur Verfügung stehende Energiemenge (Schrämlistung) auch nicht erhöht werden kann, sind dem Teilschnittmaschineneinsatz je nach Leistung technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

Die Wirtschaftlichkeit eines Teilschnittmaschinenvortriebs ist unter regulären Projektumständen dann gegeben, wenn die Dauer des Ausbruchsvorgangs inkl. Nachlauf Schuttern keinen größeren Zeitaufwand erfordert, als die Arbeitsabläufe Bohren – Besetzen – Sprengen – Schuttern beim konventionellen Bohr-/Sprengvortrieb. Unter diesen Umständen und in Konkurrenz zu modernen Sprengvortrieben ist die Grenze der Wirtschaftlichkeit nach Girmscheid (2008) bei Nettoschneidleistungen im Bereich von ca. 15 - 20 m³/h in Stollenquerschnitten bis zu 20 m² Größe und ca. 25 - 30 m³/h in Tunnelquerschnitten über 50 m² anzusiedeln.

Fehleinschätzungen der geologischen Einsatzbedingungen können zu gravierenden Leistungseinbußen, Bauzeitproblemen und kostenintensiven Nachtragsforderungen seitens des Bauausführenden führen.

In den nachstehenden Absätzen wird daher auf die bestimmenden geologisch-ingenieurgeologischen Einflussfaktoren und deren jeweilige Auswirkung auf das Verfahren eingegangen.

4.1 Gesteinsfestigkeit

Die Festigkeit des intakten Gesteins, üblicherweise ermittelt als einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit, ist die wesentliche Einflussgröße für die Leistung und den Verschleiß einer Teilschnittmaschine.

Die für die Bewertung der jeweiligen Schneidleistung verfügbaren Schneidleistungsdiagramme verschiedener Hersteller und Maschinentypen zeigen anschaulich das überproportionale Absinken der Fräseleistung mit steigender Festigkeit (Abb. 4) und in Abhängigkeit der Leistung der jeweiligen Maschine.

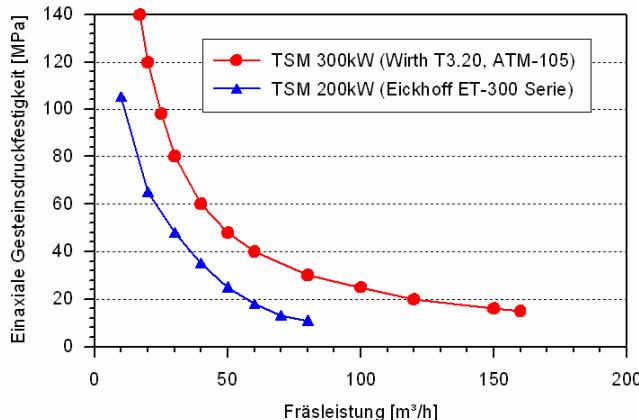


Abb. 4: Beispiel für sog. „Schneidleistungskurven“ zur Abhängigkeit der Nettoschneidleistung [m^3/h] aus der Einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit [MPa] für einige mittelschwere und schwere Teilschnittmaschinen.

Fig. 4: Example for so-called „cutting charts“ describing the influence of Unconfined Compressive Strength [MPa] on the Net Cutting Rate [m^3/h] for some types of medium and heavy duty class roadheaders.

Aus der Tatsache des stark nichtlinearen Zusammenhangs zwischen Gesteinsdruckfestigkeit und Fräseleistung lassen sich die bautechnischen Probleme ermessen, die aus unzureichenden oder unzutreffenden Gesteinsfestigkeitsangaben in der Baugrundbeschreibung erwachsen können. Entsprechende Erfahrungen sind z. B. in Thuro und Plinninger (1998) dargestellt.

Insbesondere der geplante Einsatz von Teilschnittmaschinen erfordert daher einen ausreichenden Untersuchungsumfang und einen besonderen Augenmerk auf die repräsentative Beprobung des Gebirges (siehe auch Plinninger et al., 2008). Zugunsten einer breiteren Datenbasis hat sich dabei in der Vergangenheit auch der Einsatz mittelbarer Prüfverfahren, wie z. B. des Punktlastversuchs, bewährt.

Auch die anschauliche Darstellung der Prüfergebnisse in Form von Histogrammen (Abb. 5), die die Häufigkeitsverteilung der erhobenen Kennwerte zeigen, erleichtert die Einschätzung der maßgeblichen Festigkeit und deren Bandbreite im Zuge der Projektbearbeitung durch den Bieter.

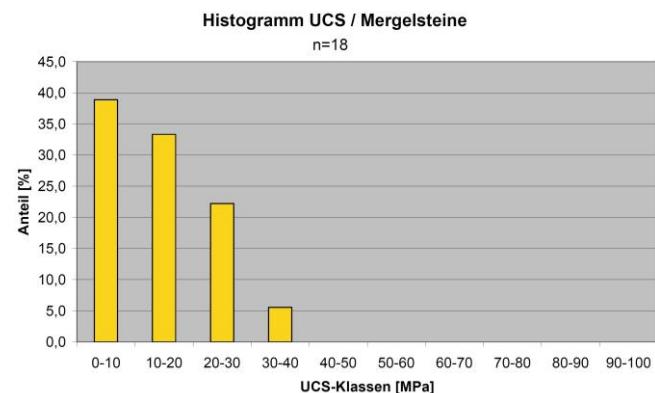


Abb. 5: Beispiel für die Darstellung von Festigkeitskennwerten als Histogramm.

Fig. 5: Example for the presentation of a UCS data set as a statistical distribution diagram.

4.2 Zerlegungsgrad des Gebirges

Das Fehlen von mechanisch aktivierbaren Trennflächen, wie Kluft-, Schicht- oder Schieferungsflächen stellt den energetisch ungünstigsten Fall für die Gebirgslösung mit einer Teilschnittmaschine dar. Hier muss das Gesteinsvolumen vollständig in kleine Bruchstücke („Chips“) zerlegt werden (siehe Schema, Abb. 6).

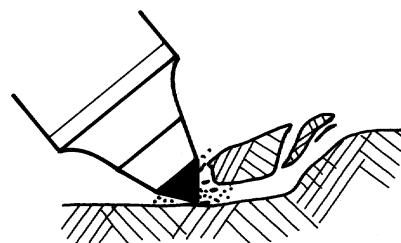


Abb. 6: Schematische Darstellung des „Zerspanens“ eines intakten Gesteins durch einen Rundschaftmeißel.

Fig. 6: Scheme for the „chipping“ process of an intact rock mass by the point attack pick of a roadheader.

Bei einer Gebirgszerlegung mit mechanisch aktivierbaren Trennflächen von < rd. 20 cm Abstand kann die Fräse bei entsprechender Raumstellung des Gefüges dagegen ganze Gesteinskörper entlang vorgezeichneter Schwächezonen aus dem Verband reißen (siehe Schema, Abb. 7).

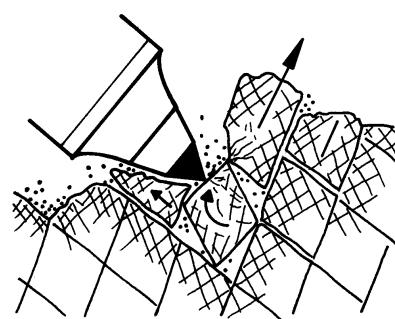


Abb. 7: Schematische Darstellung des „Reißens“ eines mit mechanisch wirksamen Trennflächen zerlegten Gesteins durch einen Rundschaftmeißel.

Fig. 7: Scheme for the „ripping“ process of an fractured rock mass by the point attack pick of a roadheader.

Der Einfluss dieses Effekts auf die Schneidleistung ist signifikant und kann – je nach spezifischem Durchtrennungsgrad des Gebirges – zu Steigerung der Fräseistung von rd. 200 bis 260 % gegenüber dem Lösen des unzerlegten Gebirges reichen (Abb. 8).

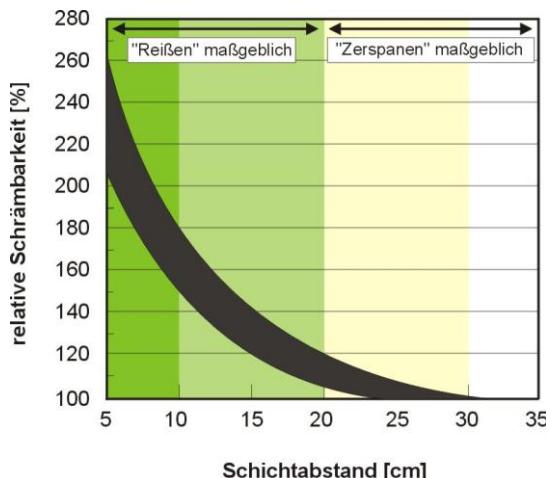


Abb. 8: Einfluss des Trennflächenabstands auf die Schrämbarkeit (nach: Girmscheid, 2008, Bild 7.14-4, S. 151).

Fig. 8: Influence of discontinuity spacing on the cutability (acc. to Girmscheid, 2008, Fig. 7.14-3, p. 151).

Wesentlich für den positiven Einfluss des Trennflächengefüges auf den Fräsvorgang einer Teilschnittmaschine ist jedoch, dass die jeweiligen Strukturen auch tatsächlich als Ablöseflächen aktivierbar sind. Da viele Schieferungsfächen, Schichtflächen oder verheilte Klüfte zwar der Definition einer „Trennfläche“ im herkömmlichen geologischen Sinne entsprechen, jedoch für die Gebirgslösung keine Rolle spielen, wird in diesem Zusammenhang gerne auf den Begriff der „mechanisch wirksamen“ Trennfläche zurückgegriffen.

Die Forderung nach einer zutreffenden Einschätzung des mechanisch wirksamen Trennflächengefüges ist aber insfern problematisch, da sich dieser Einflussfaktor im Zuge herkömmlicher Baugrundaufschlüsse (v.a. Bohrungen) nur schwer quantifizieren lässt. Auch in der Methodik begründete Fehleinschätzungen, wie z. B. eine nicht erkannte, künstlichen Zerlegung beim Bohrvorgang oder ein Zerbrechen oder Aufblättern veränderlich fester Gesteine nach Freilegung können daher weit reichende Konsequenzen für die Einschätzung der Fräsbartigkeit haben.

4.3 Gesteinszähigkeit

Die Zähigkeit eines Gesteins beschreibt dessen Fähigkeit, bei gleichzeitig hoher Festigkeit hohe Verformungen im pre-failure- und post-failure-Bereich aufzunehmen. Dieses Verhalten ist für die Gebirgslösung energetisch ungünstiger, als das bei spröde reagierenden Gesteinen nach geringer Verformung auftretende schlagartige Bruchversagen.

Als Kennwert für die Beschreibung der Gesteinszähigkeit hat der Zähigkeitskoeffizient Z weite Verbreitung gefunden, der als Verhältnis von Einaxialer Druckfestigkeit zur Spaltzugfestigkeit ermittelt wird ($Z=UCS/SPZ$). „Normal“ reagierende Gesteine verfügen üblicherweise über Z im Bereich von 8-13, „spröde“ Gesteine weisen einen höheren Koeffizienten, „zähe“ Gesteine niedrigere Koeffizienten auf.

Der Einfluss der Zähigkeit auf die Schneidleistung einer Teilschnittmaschine wird mit etwa $\pm 20\%$, bezogen auf die Schneidleistung in einem Gestein „normaler“ Zähigkeit ($Z=10$) angenommen (siehe Abb. 9). Die Gesteinszähigkeit stellt damit einen weiteren – vor allem leistungsrelevanten – geologischen Einflussfaktor dar.

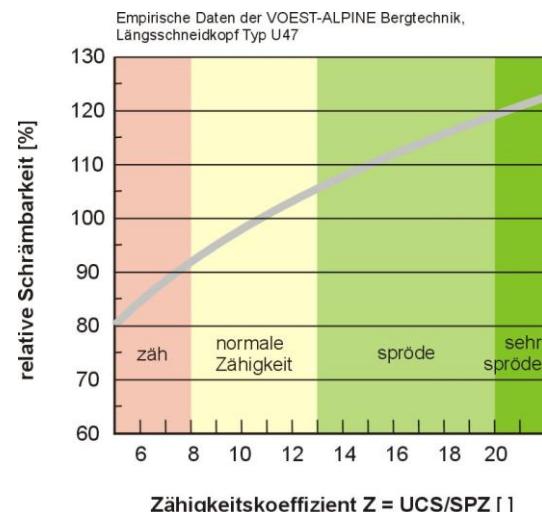


Abb. 9: Einfluss der Gesteinszähigkeit (charakterisiert durch den Zähigkeitskoeffizient „Z“) auf die Schrämbarkeit (nach Girmscheid, 2008, Bild 7.14-3, S. 151).

Fig. 9: Influence of rock toughness (characterized by the toughness coefficient “Z”) on the cutability (acc. to Girmscheid, 2008, Fig. 7.14-3, p. 151).

Da die Ermittlung repräsentativer Kennwerte für die Gesteinszähigkeit üblicherweise nicht Bestandteil regulärer Baugrundkundungskampagnen ist, sollte bei einem projektierten Teilschnittmaschineneinsatz dieser Gebirgsgegenstand z. B. durch die Bestimmung repräsentativer Spaltzugfestigkeiten eine erhöhte Bedeutung beigemessen werden.

4.4 Mixed-face-Bedingungen

Verhältnisse, bei denen innerhalb einer einzigen Ortsbrust ein oder mehrere Gesteine stark unterschiedlicher Festigkeit auftreten, werden als sog. „mixed-face“-Bedingungen bezeichnet.

Auftreten können derartige Verhältnisse z. B. in Wechsellagerungen von Kalk- / Sandsteinen mit Mergelsteinen oder bei Vorkommen von Konkretionen und Härtlingslagen. Konkrete Beispiele stellen z. B. der beim Projekt Meistertunnel / Bad Wildbad angetroffene „Karneoldolomithorizont“ im Rotliegend (siehe Thuro und Plinninger, 1998) oder die im Sandsteinkeuper häufigen „Quacken“ oder „Steinmergellagen“ (u. a. Projekt U2 Nord / Nürnberg, siehe Plinninger und Thuro, 2001) dar. Da derartige Phänomene für Sedimentgesteine nicht untypisch sind verdienen sie insbesondere unter Bezug auf Teilschnittmaschineneinsätze besondere Aufmerksamkeit.

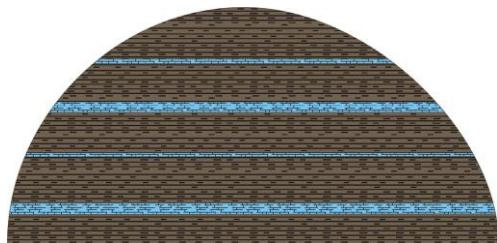
Wie sich varierende Anteile und Mächtigkeiten schwer fräsbarer Horizonte auf einen Vortrieb mit Teilschnittmaschine auswirken können, soll in den nachstehenden vier Schemata am Beispiel einer Wechsellagerung von gut fräsbaren Mergelsteinen und extrem schwer bzw. nicht fräsbaren Kalksteinen veranschaulicht werden.

Mixed-Face-Situation 1: Es dominieren Mergelsteine, Kalksteine sind nur sehr vereinzelt (< 5 % Flächenanteil) und mit geringen Einzelmächtigkeiten am Aufbau der Ortsbrust beteiligt.



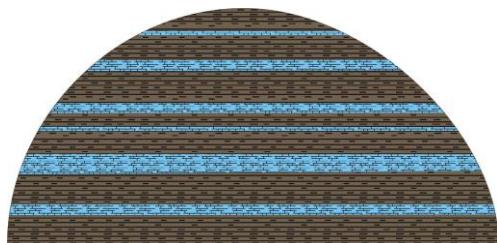
Frässbarkeit: Die Frässbarkeit mit Teilschnittmaschine wird nicht oder nur unwesentlich von den Kalksteinbänken beeinflusst. Gute Fräseleistung und niedriger Meißelverschleiß.

Mixed-Face-Situation 2: Es dominieren Mergelsteine, Kalksteine treten zwar auf, sind aber anteilmäßig untergeordnet (< ca. 20 % Flächenanteil) und geringmächtig (< 20 cm).



Frässbarkeit: Die Frässbarkeit mit Teilschnittmaschine wird zwar von den Kalksteinbänken negativ beeinflusst, der Ausbruch ist aber nach wie vor allein mit der Fräse möglich. Einzelne Kalkbänke in der Brust können ggf. unterschnitten und als Ganzes zum Absturz gebracht werden. Noch gute Fräseleistung und ggf. geringfügig erhöhter Meißelverschleiß.

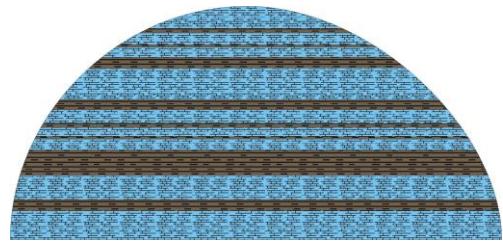
Mixed-Face-Situation 3: Es dominieren nach wie vor Mergelsteine, die auftretenden Kalksteinlagen sind aber nennenswert am Aufbau der Ortsbrust beteiligt (Flächenanteil > 20 %, < 50 %) oder treten mit größeren Mächtigkeiten auf (> 20cm)



Frässbarkeit: Die Frässbarkeit mit Teilschnittmaschine wird von den Kalksteinbänken nachhaltig negativ beeinflusst. Die Bänke können nicht mehr durch Unterschneiden zum Absturz gebracht werden, die Fräseleistung ist empfindlich beeinträchtigt. Der Verschleiß an Rundschaftmeißeln ist insbesondere durch erhöhtes Sprödbruchversagen erhöht.

Ggf. kann eine Unterstützung durch lokalen Einsatz eines Hydraulikmeißels oder Lockerungssprengungen sinnvoll sein.

Mixed-Face-Situation 4: Es treten dominierende mächtige Kalksteinbänke (> 50 %) auf, Mergelsteinzwischenlagen sind nur noch untergeordnet am Aufbau der Ortsbrust beteiligt.



Frässbarkeit: Die Nettofräseleistungen der Teilschnittmaschine sinken unter die Wirtschaftlichkeitsgrenze ab, ein Ausbruch mit Fräse allein ist nicht mehr wirtschaftlich möglich. Der Einsatz von Hydraulikmeißeln, ggf. eines Sprengabschlags wird erforderlich.

Für die rechnerische Ermittlung der mittleren Nettoschneideleistung unter mixed-face-Verhältnissen kann bei zwei Gesteinsarten vereinfacht angesetzt werden:

$$P = A_A \times P_A + A_B \times P_B \quad (1)$$

mit:

P – durchschnittliche Nettofräseleistung [m^3/h]

A_A – Flächenanteil Gestein A [Flächen-%]

P_A – spezifische Nettofräseleistung Gestein A [m^3/h]

A_B – Flächenanteil Gestein B [Flächen-%]

P_B – spezifische Nettofräseleistung Gestein B [m^3/h]

Dementsprechend kann für die Ermittlung des mittleren spezifischen Werkzeugverschleißes bei zwei Gesteinsarten vereinfacht angesetzt werden:

$$W = A_A \times W_A + A_B \times W_B \quad (2)$$

mit:

W – durchschnittlicher Meißelverschleiß [Meißel/ m^3]

A_A – Flächenanteil Gestein A [Flächen-%]

W_A – spezifischer Werkzeugverschleiß Gestein A [Meißel/ m^3]

A_B – Flächenanteil Gestein B [Flächen-%]

W_B – spezifischer Werkzeugverschleiß Gestein B [Meißel/ m]

4.5 Gesteinsabrasivität

Für den üblicherweise als spezifischer Rundschaftmeißelverschleiß [$Meißel/m^3$] angegebenen Werkzeugverschleiß spielt zusätzlich zu den bisher dargestellten Faktoren die Abrasivität des anzutreffenden Gesteins eine Rolle, die als Summenparameter aller den Verschleiß beeinflussender geologischer Eigenschaften definiert ist (Plinninger, 2002).

Für die Untersuchung und Bewertung der Gesteinsabrasivität gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, wobei sich v.a. Indexversuche und mineralogisch-petrographische Verfahren etabliert haben (für eine aktuelle Übersicht siehe Plinninger und Restner, 2008).

Bei den Indexversuchen findet vor allem der Abrasionsversuch nach den Prüfempfehlungen des CERCHAR Anwendung. Dieser Versuch basiert auf einem Prüfstift definierter Geometrie und Härte, der bei konstanter Auflast über 10 mm eines Prüfkörpers gezogen wird. Der CERCHAR Abras-

sivitäts-Index (CAI) errechnet sich als Mittelwert über 2-5 Einzelversuche aus der Breite der am Stift entstandenen kegelstumpfförmigen Verschleißphase.

Für die Überleitung in spezifische Meißelverbrauchsichten existieren empirische Diagramme, wie das in nachstehender Abbildung 10 dargestellte Diagramm des Herstellers SANDVIK.

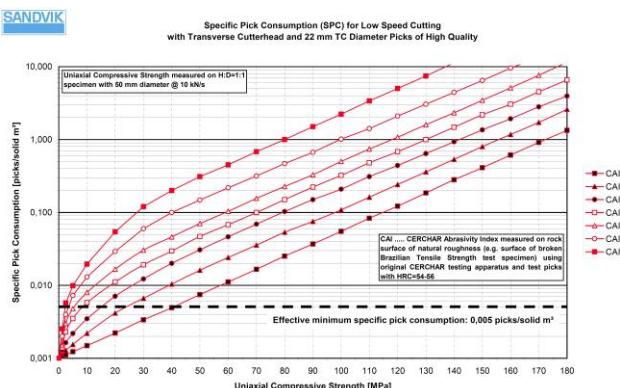


Abb. 10: Beispiel für eine auf empirischen Datensätzen beruhende, Korrelation zwischen UCS, CAI und dem spezifischen Meißelverschleiß an 22 mm Rundschäfte meißeln (aus: Plinninger und Restner, 2008, Abb. 7, S. 65).

Fig. 10: Example for a correlation between CAI, UCS and specific point attack pick wear for 22mm picks based on empirical data sets (from: Plinninger and Restner, 2008, Fig. 7, p. 65).

Die Tatsache, dass neben dem Abrasivitätsindex CAI in die Verschleißbewertung auch die Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins eingeht, obwohl diese sich bereits in der Höhe des bestimmten CAI abbildet, zeigt die bereits unter Absatz 4.1 angedeutete Relevanz dieses Kennwerts und unterstreicht die dort getroffenen Hinweise zur Ermittlung und Darstellung dieses Parameters.

5 Zusammenfassung / Empfehlungen

Insbesondere bei innerstädtischen Projekten stellt der Einsatz von Teilschnittmaschinen aufgrund ihrer überaus günstigen Emissionscharakteristik eine interessante Alternative zum konventionellen Bohr- und Sprengvortrieb dar. Vielfach können damit Projekte realisiert werden, bei denen aufgrund sensibler Infrastruktur in der Nachbarschaft, Auflagen und/oder Beschränkungen (u. a. Erschütterungsgrenzwerte, Nachtsprengverbote, o. ä.) ein Sprengvortrieb ausgeschlossen oder erheblichen Leistungseinbußen unterworfen wäre.

Die erstmals dargestellten, empirischen Datensätze zum Mehrausbruch in alpinen Molassegesteinen belegen, dass das Verfahren ebenfalls geeignet ist, den Mehrausbruch entlang des Ausbruchrandes wirksam zu minimieren, so dass ein gegenüber dem Sprengverfahren um rd. 1,5 bis 2,3-fach geringerer Mehrausbruch auftritt. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Eigentragfähigkeit des Gebirgsverbands, den Zeit- und Kostenaufwand für die Erstellung der Auskleidung sowie die Umläufigkeit des Gebirges aus.

Demgegenüber stellt die Sensibilität einer Teilschnittmaschine gegenüber geologisch-ingenieurgeologischen Gebirgseigenschaften, wie Festigkeit, Zähigkeit, Durchtrennungsgrad und Abrasivität Risiken dar, deren unzureichende Berücksichtigung zu erheblichen Leistungseinbußen, Vertragskonflikten bzw. gar zum Scheitern des Verfahrens führen können.

Als Maßnahme der Risikominimierung seitens des Bauherrn kommt daher einer kompetenten und auf die spezifischen Einflussfaktoren des Verfahrens angepassten Baugrundkundung eine wesentlich Bedeutung zu.

Auch der Bieter bzw. die bauausführende Firma kann mit einem entsprechend ausführlichen technischen Bericht zum Angebot wesentlich zu einer transparenten Bauabwicklung und einer zielführenden Diskussion eventueller Baugrundänderungen beitragen. Ein derartiger Bericht sollte die Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen des gewählten Verfahrens, die vom Bieter angesetzten, relevanten geologischen Kennwerte sowie die zur Ermittlung von Leistung und Verschleiß verwendeten Modelle (u. a. Schneidleistungsdiagramm) beinhalten.

Literatur

- Girmscheid, G. (2008): Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau, 694 S., Berlin (Ernst & Sohn).
- Lammer, E. & Gehring, K. (1998): Verbesserung von Schneidwerkzeugen und Schneidsystemen von Teilschnittmaschinen.- Felsbau, 16: 348-356, Essen (Glückauf).
- Lenze, P. (2006): Mehrausbruch am Achraintunnel L200 neu, Dornbirn Nord-Schwarzachtobel, unveröffentlichte Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Geowissenschaften
- Plinninger, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein.- Münchner Geologische Hefte, Reihe B, 17 - Angewandte Geologie, XI + 146 S., 99 Abb., 36 Tab, München (Hieronymus).
- Plinninger, R.J.; Bruehlheide, Th.; Nickmann, M. (2008): Geotechnische Aspekte der repräsentativen Beprobung von Festgestein.- geotechnik, 31, 4: 308 - 317, Essen (Glückauf).
- Plinninger, R.J.; Restner, U. (2008): Abrasiveness testing, quo vadis? - a commented overview of abrasivity testing methods.- Geomechanik und Tunnelbau: 2008, 1: 61-70 (Ernst und Sohn).
- Plinninger, R.J.; Thuro, K. (2001): Erfahrungen bei Fräsvortrieben im Nürnberger U-Bahn-Bau. - Felsbau 19,1: 1-8, Essen (Glückauf).
- Thuro, K.; Plinninger, R.J. (1998): Geologisch-geotechnische Grenzfälle beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. - Felsbau 16: 358-366.