



# Teilschnittmaschinen im Tunnel- und Stollenbau – Chancen und Risiken

**Dr. Ralf PLINNINGER**

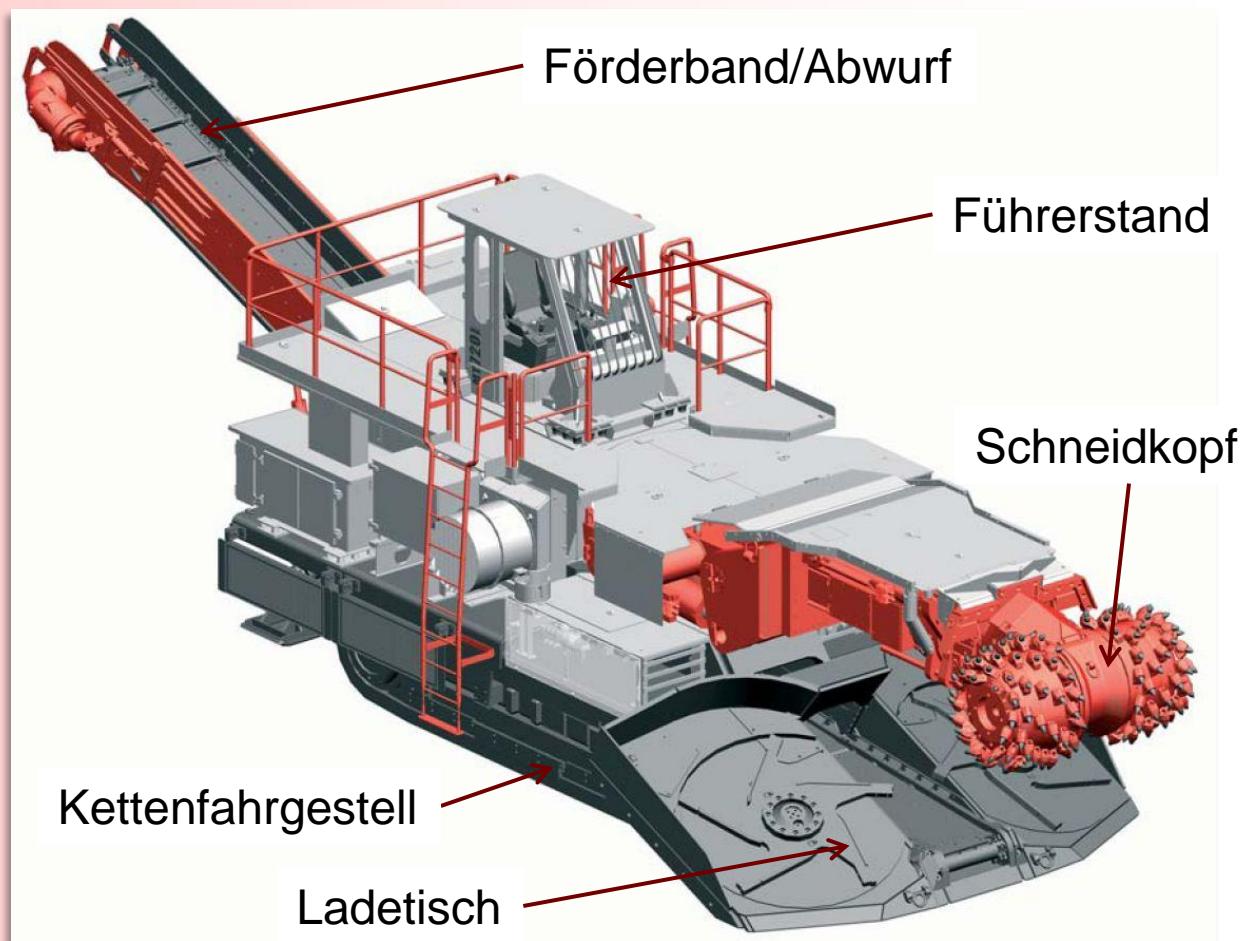
Diplom-Geologe (Univ.)  
Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried



öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Leistung und  
Verschleiß bei Lösearbeiten im Fels

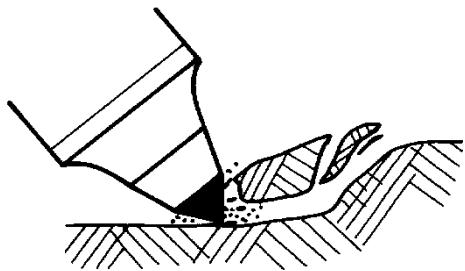
## ► Charakteristika einer Teilschnittmaschine

- ▶ Klassifizierung nach Schrämkopfleistung:
  - 50 - 170 kW „leicht“
  - 160 - 230 kW „mittelschwer“
  - 250 - 300 kW „schwer“
  - 350 - 400 kW „überschwer“
- ▶ Ausführung mit:
  - Querschneidkopf
  - Längsschneidkopf
- ▶ Schneidkopfbesatz mit Rundschaftmeißeln

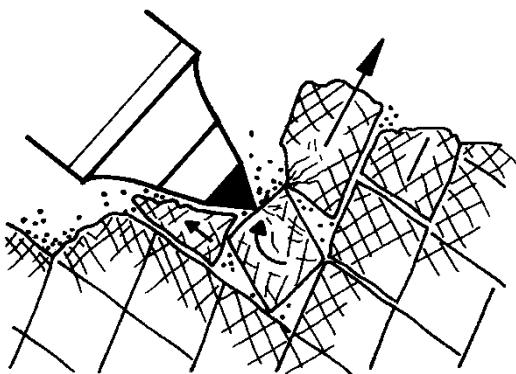


Schwere Teilschnittmaschine SANDVIC MT720 (300kW / 135 t)  
(Herstellerzeichnung SANDVIC Mining & Construction)

## ► Gebirgslösungsprozess



- „Spanen“ eines intakten Gebirges



- „Reissen“ eines vorzerlegten Gebirges



*Spanende Gebirgslösung in einem massigen Tonmergelstein  
(Achraintunnel, Dornbirn/A, 2007)*

# ► Teilschnittmaschineneinsatz in Deutschland

## Bergbau / Gewinnungsindustrie:

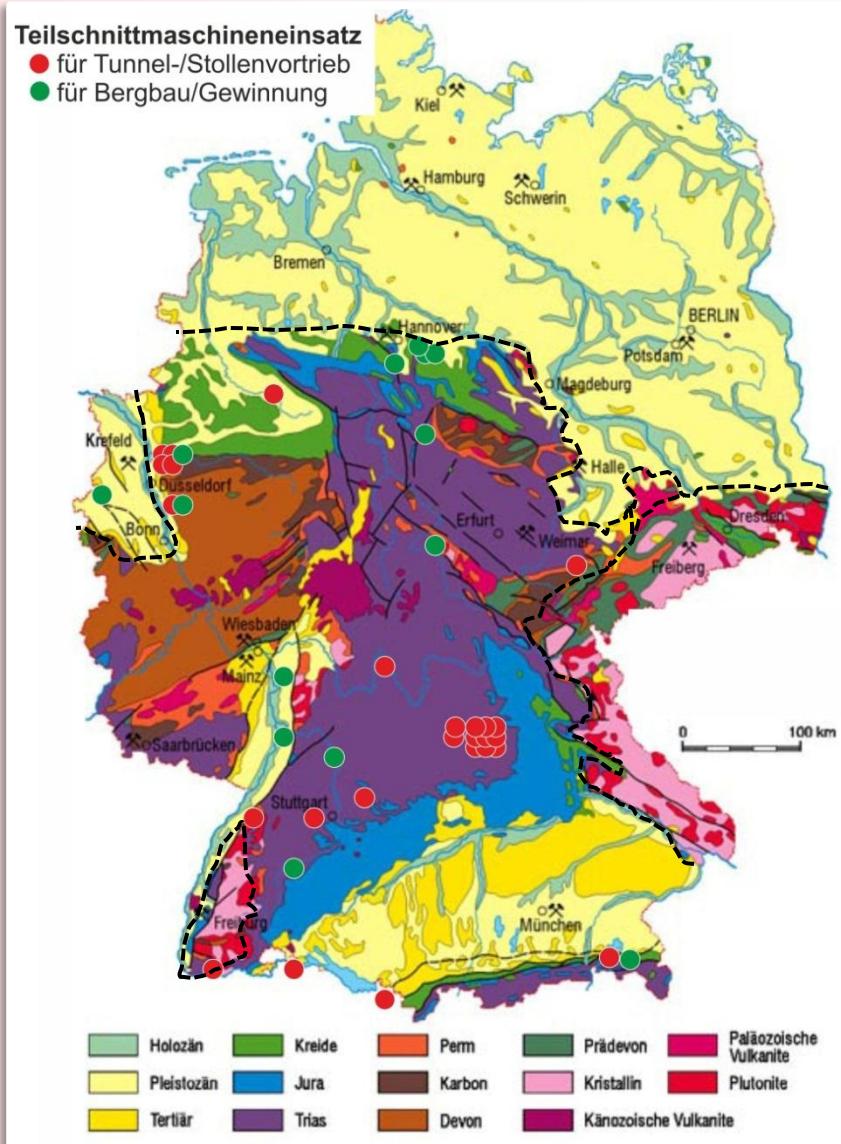
- ▶ Kali-, Steinsalz und Gipsgewinnung
- ▶ Endlagerung / Endlagerforschung
- ▶ Streckenvortriebe in der Steinkohle

## Tunnel- und Stollenbau:

- ▶ Stadtgebiete Bochum, Dortmund  
(U-Bahn, Münsterländer Kreidebucht)
- ▶ Stadtgebiete Nürnberg, Fürth, Stuttgart  
(U-Bahn, Sandstein- und Gipskeuper)
- ▶ Molassebecken (u.a. auch Schweiz/Vorarlberg)

**Haupteinsatzgebiet sind Sedimentfolgen  
mit niedriger bis mittlerer Festigkeit  
(5 – 50 MPa Einaxiale Druckfestigkeit)**

*Karte nach Referenzdaten der Fa. EICKHOFF  
und eigenen Daten. Kartengrundlage: BGR*



## ► Chance: Erschütterungsminimierung

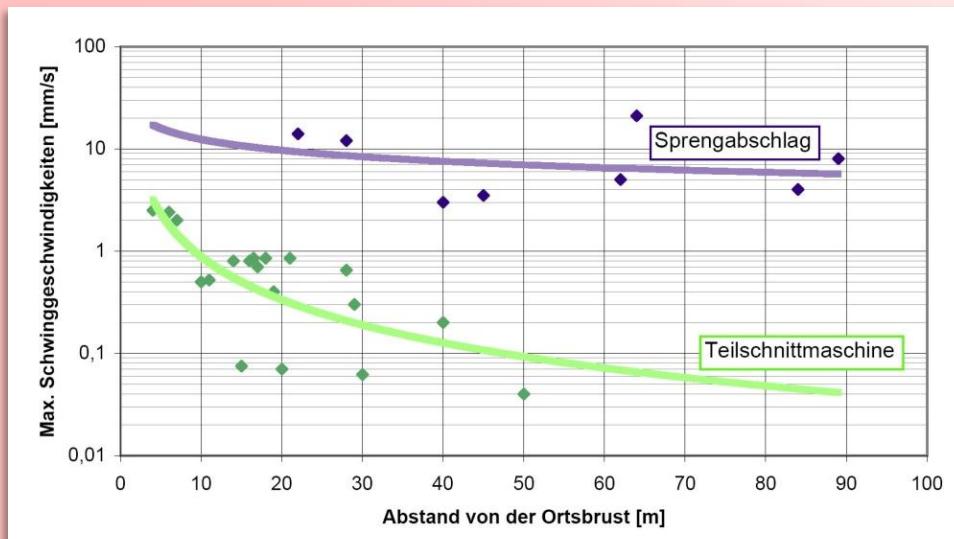


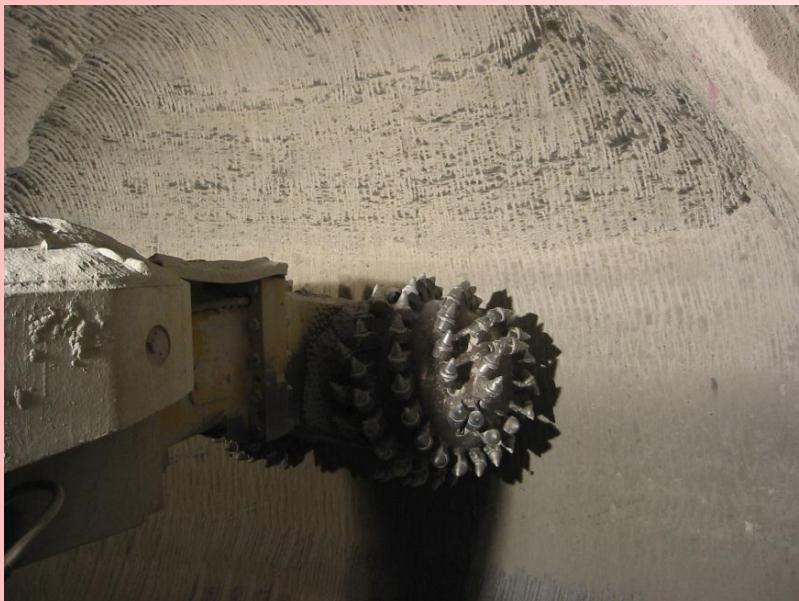
Diagramm zu den maximalen Schwinggeschwindigkeiten für Spreng- (violett) und Fräsvortriebe (grün) in Abhängigkeit vom Abstand zur Ortsbrust (nach Messdaten der Fa. SANDVIC)

**Der Vortrieb mittels Teilschnittmaschine garantiert ein Minimum an Erschütterungen an der Oberfläche. Nachtsprengverbote oder andere Limitierungen, die aus der Erschütterungsproblematik röhren können damit oft umgangen werden.**

Subjektiv wird von Anwohnern das stundenlange niedrigfrequente „Mahlen“ aber oft als störender empfunden, als das kurze „Rumpeln“ eines Sprengabschlags.

- ▶ Insbesondere im innerstädtischen Tunnel- und Stollenbau kommt der Einhaltung gesetzlicher Erschütterungsgrenzwerte und dem Schutz sensibler Bauwerke eine immer höhere Bedeutung zu.
- ▶ Schutzauflagen, wie Nachtsprengverbote minimieren die Leistung von Bohr-/Sprengvortrieben.

## ► Chance: hohe Profilgenauigkeit



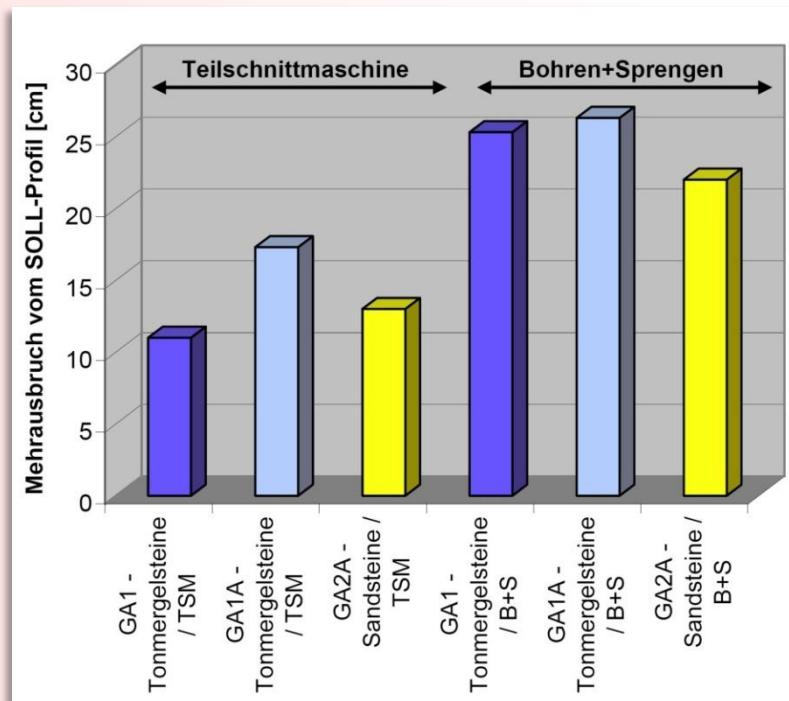
Profilgenauigkeit bei einem Vortrieb in Molassemergeln (Tunnel Tridel, Lausanne/CH, 2005)

Durch die spezifische Art der Gebirgslösung wird auch der geologisch bedingte Mehrausbruch signifikant reduziert (Faktor 1,5 - 2,3).

**Dies wirkt sich positiv auf die Eigentragfähigkeit und Umläufigkeit des Gebirges und den Spritzbetonverbrauch aus.**

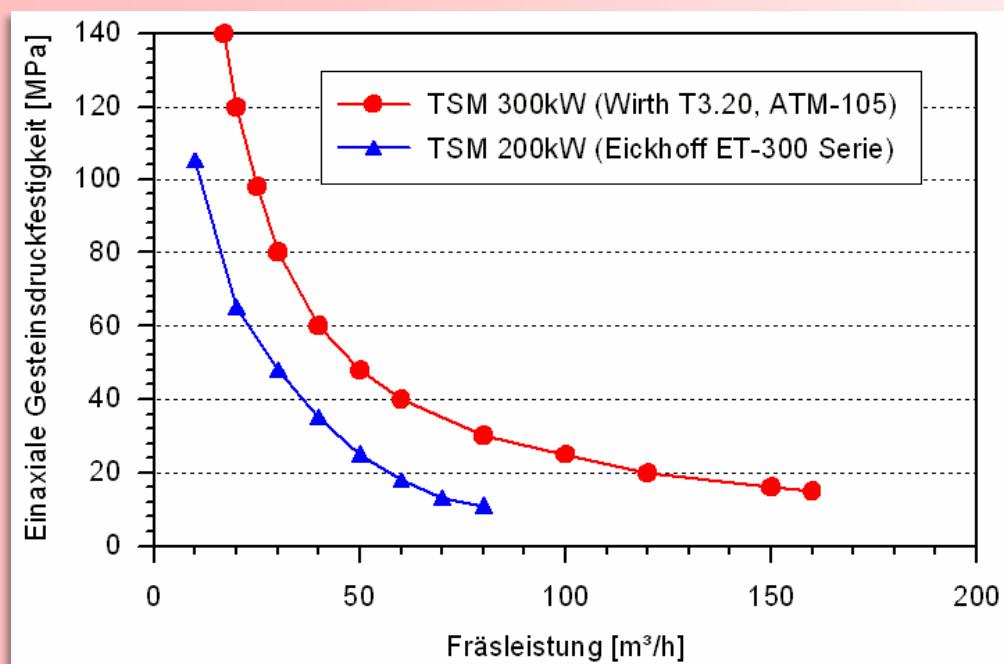
Insbesondere bei Einsatz geodätischer Steuer- und Überwachungssysteme lässt sich der technisch bedingte Mehrausbruch auf wenige Zentimeter (< 5 cm) reduzieren.

Gegenüberstellung des Mehrausbruchs bei Teilschnitt- und Sprengvortrieb in identischen Schichtgliedern (nach: LENZE, 2006)

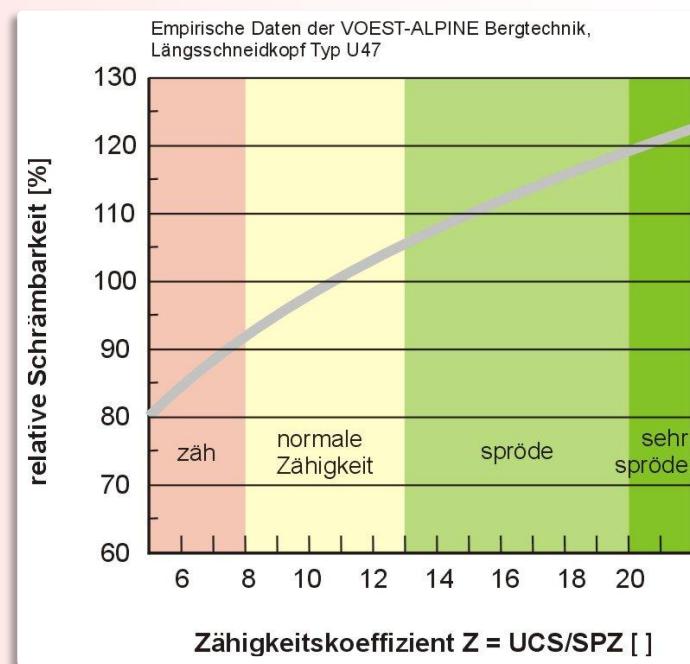


## Risiko: Geotechnische Sensitivität des Verfahrens

Die Fräс- bzw. Abbauleistung sowie der spezifische Werkzeugverschleiß hängen unmittelbar von den geologisch – geotechnischen Einsatzbedingungen ab.

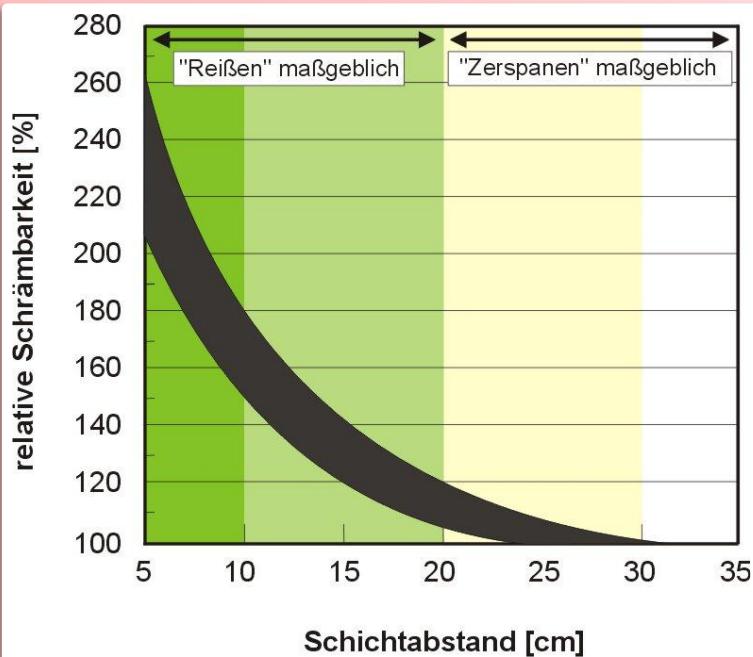


Abhängigkeit der Nettofräсleistung von der Einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit (nach Herstellerangaben).

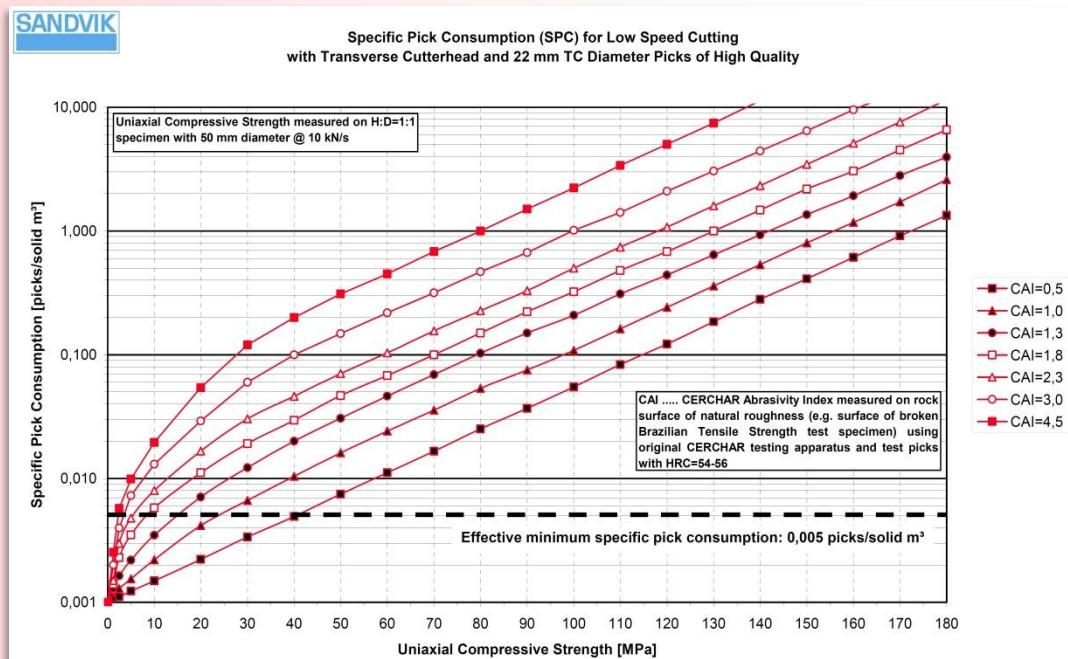


Abhängigkeit der Nettofräсleistung von der Gesteinszähigkeit (Zähigkeitskoeffizient „Z“; nach Girmscheid, 2008, Bild 7.14-3, S. 151).

## ► Risiko: Geotechnische Sensitivität des Verfahrens



Abhängigkeit der Nettofräseleistung vom Abstand mechanisch wirksamer Trennflächen (nach: Girmscheid, 2008, Bild 7.14-4, S. 151).



Abhängigkeit des spezifischen Meißelverschleißes von der Abrasivität (CAI) und der Druckfestigkeit des Gesteins (aus: Plinninger und Restner, 2008, Abb. 7, S. 65).

- Da die zur Verfügung stehende Maschinenleistung bei einmal gewähltem Typ nicht weiter erhöht werden kann, sind dem Verfahren technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

## ► Risiko: Mixed-face-Verhältnisse

Als „mixed face“ werden Verhältnisse beschrieben, bei denen innerhalb einer einzigen Ortsbrust ein oder mehrere Gesteine stark unterschiedlicher Festigkeit auftreten.

Derartige Verhältnisse sind insbesondere bei klastischen Sedimenten häufig und sind daher insbesondere für die Bewertung von Teilschnittmaschineneinsätzen relevant:

- ▶ Wechsellagerungen von Kalksteinen oder Sandsteinen mit Mergelsteinen (z.B. Flyschablagerungen, Molasse, Münsterländer Kreide)
- ▶ Konkretionäre Horizonte (z.B. Karneoldolomit im Rotliegend, Quackenlagen im Sandsteinkeuper)



*Flyschabfolge, Portal Tunnel Col Cavalier, Belluno/I (2010)*

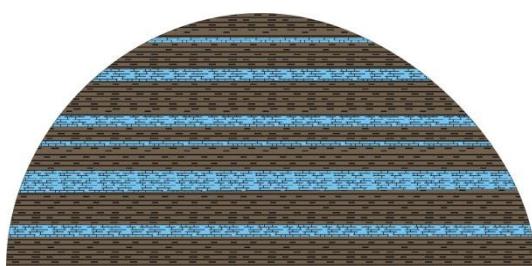
## ► Risiko: Mixed-face-Verhältnisse

Leistung und Verschleiß unter derartigen Verhältnissen werden von der Häufigkeit und der Mächtigkeit von Härtlingslagen gesteuert. Beispiel:



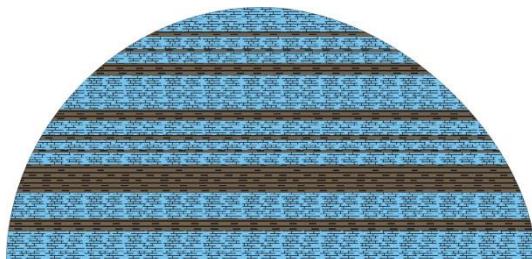
Dominierend Mergelsteine, Kalksteine nur sehr vereinzelt und mit geringer Mächtigkeit.

**Fräubarkeit:** nicht oder nur unwesentlich von den Kalksteinbänken beeinflusst. Gute Fräseleistung und niedriger Meißelverschleiß.



Dominierend Mergelsteine, Kalksteinlagen anteilmäßig nennenswert oder mit größeren Bankmächtigkeiten.

**Fräubarkeit:** von den Kalksteinbänken negativ beeinflusst. Bänke können nicht mehr durch Unterschneiden zum Absturz gebracht werden, Fräseleistung empfindlich beeinträchtigt. Erhöhter Verschleiß.



Dominierend mächtige Kalksteine.

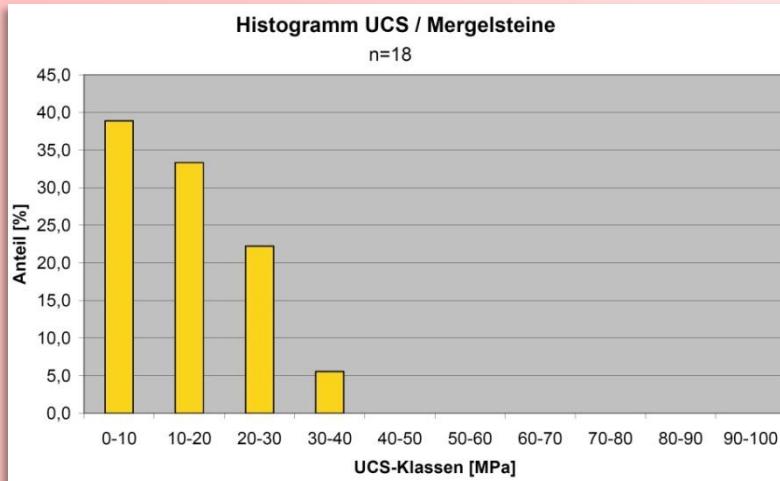
**Fräubarkeit:** Ausbruch mit Fräse nicht mehr wirtschaftlich. Einsatz von Hydraulikmeißeln, ggf. Sprengabschlags.

# Konsequenzen für die Baugrunderkundung

Aufgrund der Sensitivität des Verfahrens gegenüber den geologisch – geotechnischen Einsatzbedingungen stellt der vorgesehene Einsatz einer TSM besonders hohe Anforderungen an die Baugrunderkundung und Ausschreibung.

Dies umfasst vor allem die unmissverständliche und anschauliche Darstellung der geotechnischen Schlüsselparameter für Leistung und Verschleiß:

- ▶ Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit des intakten Gesteins;
- ▶ mechanisch wirksame Zerlegung des Gebirges;
- ▶ Zähigkeit des Gesteins;
- ▶ Abrasivität des Gesteins



Beispiel für anschauliche Histogrammdarstellung

GA 4			
Lithologie	Kalk-/Dolomitmarmor		
Schieferung/Anisotropie	60 - 20 cm / gering anisotrop		
Kluftkörpergröße	20 - 6 cm		
TF-Beschaffenheit	sf: rau; K: rau, evtl. tonig-schluffige Füllungen		
Trennflächenausbisslänge	überwiegend niedrig		
Öffnung	geöffnet		
Gesteinskennwerte	Mittelwert	Standardabweichung	Versuchanzahl
UCS [MPa]	102,6	29,0	26
$m_i$ [-]	13,4	6,2	20
c [MPa]	24,2	8,2	20
$\phi$ [ $^{\circ}$ ]	40,7	4,9	20
E [GPa]	68,3	17,9	23
$v$ [-]	0,19	0,05	23
CAI [-]	1,4	0,4	18
Trennflächenkennwerte			
Reibungswinkel [ $^{\circ}$ ]	10-20		
Restreibungswinkel [ $^{\circ}$ ]	10-20		
Gebirgskennwerte	Mittelwert	Standardabweichung	
GSI [-]	40	10	
- UCS [MPa]	13,9	4,9	
c [MPa]	3,9	1,3	
$\phi$ [ $^{\circ}$ ]	30,5	4,5	
E [GPa]	6,2	3,4	

..... schattiert unterlegte Werte sind Schätzwerte

Gebirgsart-Tabelle aus ÖGG-Richtlinie 2001

## ► Konsequenzen für das Angebot und den Bauvertrag

Insbesondere bei einem angebotenen Teilschnittmaschinenvortrieb kann ein ausführlicher technischer Bericht zum Angebot zur fairen Risikoverteilung beitragen.

In einem solchen Bericht sollte der Bieter insbesondere darstellen:

- ▶ Angesetzten Eingangskennwerte
  - v. a. geologisch-geotechnischen Kennwerte;
- ▶ Gewähltes Maschinen- und Gerätekonzept;
- ▶ Einsatzgrenzen des Verfahrens (technische / wirtschaftliche Einsatzgrenze);
- ▶ Herangezogene Modelle zur Leistungs- und Verschleißprognose;
- ▶ Abgeleitete Nettofräseleistungen, Quantifizierung der Nebenarbeiten und daraus abgeleitete Bruttofräseleistungen;
- ▶ Abgeleitete Werkzeugverbrauchsrate



## ► Fazit

- ▶ Teilschnittverfahren stellen in vielen Sedimentgesteinen mit niedriger bis mittlerer Festigkeit eine erprobte und sinnvolle Alternative zum Sprengvortrieb dar.
- ▶ Der Einsatz einer Teilschnittmaschine lässt gegenüber einem konventionellen Sprengvortrieb Vorteile erwarten, insbesondere in Hinblick auf Erschütterungen und Profilhaltigkeit/Mehrausbruch.
- ▶ Demgegenüber steht ein erhöhtes Risiko von Leistungseinbußen, Bauzeit- und Kostenüberschreitungen bis hin zum Scheitern des Verfahrens, wenn die geologisch-geotechnischen Einsatzbedingungen im Vorfeld nicht korrekt eingeschätzt wurden.
- ▶ Der geplante Einsatz einer Teilschnittmaschine erfordert eine hochwertige Erkundung und Untersuchung des Baugrunds in Hinblick auf die leistungs- und verschleißrelevanten Gesteins- und Gebirgskennwerte.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Dr. Plinninger Geotechnik**  
Geotechnische Dienstleistung und Forschung