

I Auffahrung des Tunnels Sonnenburg in Südtirol mit Teilschnittmaschine unter denkmalgeschützter Burganlage

Autoren: Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Ralf Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Dipl.-Ing. Reinhold Palla, hbpm Ingenieure Brixen, Dott. Luciano Fogolari, Obersler Cav. Pietro s.p.a, Trento

1 Das Vortriebsverfahren „Teilschnittmaschine“

Die ersten Teilschnittmaschinen wurden in den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts im Steinkohlebergbau Russlands entwickelt. In Deutschland wurden erste selbstfahrende Teilschnittmaschinen Anfang der 60er Jahre im Steinkohlebergbau eingesetzt und haben von dort ausgehend Anwendung auch im Felshohlraumbau gefunden.

Wesentliches Merkmal des Verfahrens ist der Ausbruch des Gebirges in mehreren Arbeitsschritten unter Verwendung eines schwenkbar montierten, rotierenden Schneidkopfs. Als „Teilschnittmaschinen“ im engeren Sinne werden dabei selbstfahrende Vortriebsgeräte bezeichnet, bei denen Gebirgslösungs- und Schutterprozess in einem Arbeitsablauf bewältigt werden können (Bild 1). Aufgrund des weiterhin zyklisch verlaufenden Vortriebsablaufs wird das Verfahren dennoch den konventionellen Vortriebsverfahren und nicht den maschinellen Verfahren zugerechnet.

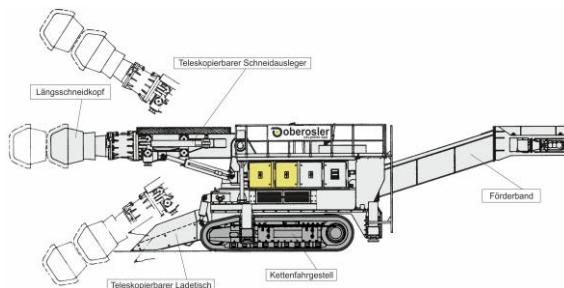


Bild 1: Seitenansicht einer schweren Teilschnittmaschine vom Typ WIRTH T3.20, wie beim Projekt Sonnenburg eingesetzt.

Bereits in der Vergangenheit haben die sehr geringen Erschütterungsemissionen der Teilschnittmaschine oft den Ausschlag für die Wahl dieses Vortriebsverfahrens gegeben. Vielfach konnten damit Tunnel und Stollen aufgefahren werden, bei denen aufgrund von Schäden in der darüberliegenden Bebauung, Sprengauflagen und/oder -beschränkungen ein

Bohr- und Sprengvortrieb gescheitert, von vorneherein ausgeschlossen oder erheblichen Leistungseinbußen unterworfen war (4).

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 Sekunden bzw. Millisekunden umgesetzt wird.

Dieser Löseprozess bedingt aber auch eine hohe Sensitivität des Verfahrens gegenüber den Eigenschaften des zu lösenden Gebirges. Da - anders als beim Sprengen - während des Vortriebs die zur Verfügung stehende Energiemenge (Schrämleistung) nicht erhöht werden kann, sind dem Teilschnittmaschineneinsatz je nach Leistungsklasse der Maschine technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Abweichungen oder Fehleinschätzungen der geologisch-geotechnischen Einsatzbedingungen können daher zu gravierenden Leistungseinbußen und Werkzeugmehrverbrauch führen, die oft kostenintensive Nachtragsforderungen seitens des Bauausführenden nach sich ziehen (4, 7).

Die fortschreitende Entwicklung der Maschinen und Werkzeuge hat in den letzten Jahrzehnten die Einsatzgrenzen immer weiter in den Bereich der Hartgesteine verschoben. Dennoch bleiben in Deutschland, Österreich und der Schweiz Sedimentfolgen mit bis rd. 50 MPa Einaxialer Gesteinsdruckfestigkeit (z.B. Tonsteine, Mergel, Tonschiefer, mürbe Sandsteine) die Haupteinsatzbereiche der Teilschnittmaschine.

Das im Folgenden beschriebene Projekt Sonnenburgtunnel bei St. Lorenzen/Südtirol (Realisierung 2009-2010) stellt ein anschauliches Beispiel für einen erfolgreichen Teilschnittmaschineneinsatz in Hartgesteinverhältnissen unter schwierigen Rahmenbedingungen dar.

2 Das Projekt Tunnel Sonnenburg

2.1 Überblick

Der Tunnel Sonnenburg ist Teil des Ausbaus der bestehenden Pustertaler Staatstrasse SS49 durch die Autonome Provinz Bozen / Südtirol. Der Gesamtbauabschnitt umfasst eine Länge von rd. 1,7 km entlang der hydrographisch rechten Flanke des Pustertals bei St. Lorenzen und ist als zweispurige Straße für eine Geschwindigkeit von 70–80 km/h ausgelegt. Von Brixen in Richtung Bruneck besteht das Bauwerk aus folgenden 4 Teilabschnitten (Bild 2):

- 70 m Tunnel in offener Bauweise;
- 310 m Tunnel in bergmännischer Bauweise unter der Sonnenburg;
- 125 m Tunnel in offener Bauweise zwischen dem Sonnenburghügel und dem Amtmannbüchel
- 105 m Tunnel in bergmännischer Bauweise unter dem Amtmannbüchel

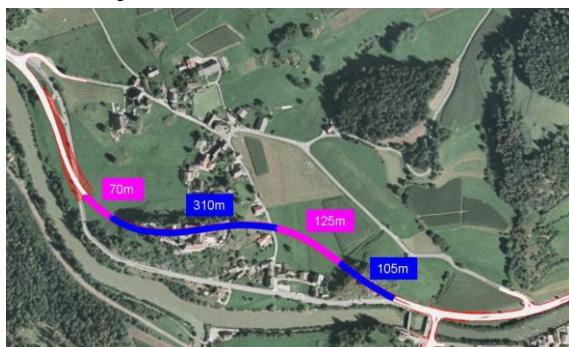


Bild 2: Luftbildansicht der Trasse mit den Teilabschnitten in offener und bergmännischer Bauweise (aus: 6)

2.2 Geologischer Überblick

Das Projektgebiet befindet sich im Bereich des sog. „Südalpins“. Unter einer meist geringmächtigen Überdeckung quartärer Lockergesteine stehen die metamorphen Folgen des sog. „Brixner Quarzphyllits“ (Ordovizium, Alter ca. 450-500 Mio. Jahre) an. In die Quarzphyllite sind untergeordnet Paragneis-Bänder und gangförmige Intrusiva (u.a. quarzreicher Diorit) eingelagert.

2.3 Die Sonnenburg

Die heute denkmalgeschützte Burgenlage der Sonnenburg (Bild 3) wurde um das Jahr 1000 n. Chr. errichtet. Nach knapp 800 Jahren Nutzung als Benediktinerinnenkloster diente die Burgenlage während der Tiroler Freiheitskämpfe (1797–1813) als Militärhospital, später als Armenwohnheim. Heute befindet sich in der Anlage ein Hotel.



Bild 3: Burgenlage der Sonnenburg, vom Ostportal in Achse des Tunnels gesehen (Foto: Plinninger).

Die Burgenlage liegt unmittelbar über der Trasse des rd. 310 m langen, bergmännischen Kernabschnitts des Tunnels Sonnenburg. Die Unterfahrung der sensiblen Bausubstanz bei Überlagerungen von rd. 50 m und laufendem Hotelbetrieb stellte eine besondere Herausforderung für Planung und Bau des bergmännischen Tunnels dar.

3 Situation im Frühjahr 2009

Mit der Bauausführung des Tunnels Sonnenburg wurde im September 2009 eine Arbeitsgemeinschaft aus den Baufirmen Oberosler Cav. Pietro s.p.a., Trento und Wipptaler Bau, Sterzing beauftragt. Das ursprüngliche Vortriebskonzept sah die Ausführung der bergmännischen Vortriebe im Bohr- und Sprengverfahren vor. Es wurde davon ausgegangen, dass durch ggf. angepasste Sprengverfahren die gesetzlichen und projektspezifischen Grenzwerte eingehalten und Schäden an der Bauwerkssubstanz der Sonnenburg verhindert werden konnten.

Doch es kam anders: Obwohl die Erschütterungen ständig überwacht und die von den Sprengungen verursachten Schwinggeschwindigkeiten unter den Grenzwerten lagen wurden bei einem Vortriebsstand von rd. 30 m vom Westportal Schäden an einem romanischen Fresko sowie ein Mauersprung in der Sonnenburg festgestellt und alle Arbeiten am 16.02.2009 eingestellt (6).

Der Bau des Tunnels war damit in den Brennpunkt des öffentlichen Interesses getreten.

4 Machbarkeitsstudie und Versuchsvortrieb unter dem Amtmannbüchel

Die weitere Entscheidung über die Möglichkeiten eines weiteren Vortriebs wurde unter Hinzuziehung internationaler Experten getroffen. Durch die mit

dem Bau beauftragte Arbeitsgemeinschaft wurde eine technische Machbarkeitsstudie für einen Teilschnittmaschinenvortrieb in Auftrag gegeben, die von einer Arbeitsgemeinschaft der Ingenieurbüros Dr. Plininger Geotechnik, Bernried und hbpm Ingenieure, Brixen ausgearbeitet wurde (1). Als Sachverständige wurde von Seiten des Bauherrn Prof. G. Barla (Politecnico Turin), von Seiten des Schlossbesitzers Prof. D. Kolymbas (Universität Innsbruck) hinzugezogen.

Im Rahmen der technischen Machbarkeitsstudie wurden alle zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden geologisch-felsmechanischen Daten bewertet und ein Maschinenkonzept erarbeitet. Die darauf basierenden Leistungs- und Verschleißprognosen ließen den Schluss zu, dass ein Vortrieb mit einer schweren Teilschnittmaschine nach herkömmlichen Maßstäben unwirtschaftlich, jedoch an der Grenze der Machbarkeit technisch möglich sein würde (Bild 4). Die dargestellten Erfahrungswerte zur Erschütterung sprachen jedoch klar für das Verfahren.

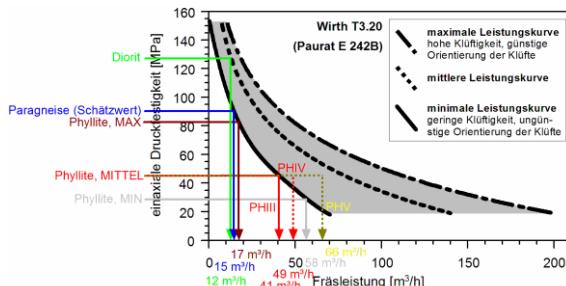


Bild 4: Fräseleistungsdiagramm für die Teilschnittmaschine WIRTH T3.20 mit den in der Machbarkeitsstudie angesetzten Kennwerten der verschiedenen Gebirgsarten (aus: 1, Abb. 11, S. 26).

Auf Anraten der Sachverständigen entschloss sich die Provinz Bozen, zuerst den in Bezug auf die Burgenlage unkritischen Tunnel unter dem Amtmannsbühl zu realisieren und dort beide Verfahren – einen angepassten Sprengvortrieb und einen Vortrieb mit Teilschnittmaschine – einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Da die geologischen Verhältnisse mit denen unter der Sonnenburg vergleichbar waren, war damit eine Einschätzung und Prognose für den eigentlichen Haupttunnel möglich.

Die von der Baufirma eingesetzte schwere Teilschnittmaschine vom Typ Wirth T3.20 bewährte sich bei diesen Tests. Die Tatsache, dass beim Ausbruch mit Teilschnittmaschine faktisch keine messbaren Erschütterungen an der Geländeoberfläche auftraten, brachte schließlich die Entscheidung zugunsten eines Teilschnittmaschinenvortriebs unter der Sonnenburg.

5 Teilschnittmaschinenvortrieb unter der Sonnenburg

Am 04.03.2010 wurde der Vortrieb unter der Sonnenburg als Teilschnittvortrieb wieder aufgenommen. Der Vortrieb erfolgte in zwei Teilquerschnitten – Kalotte und Strosse – von Osten nach Westen. Die Kalotte des Tunnels konnte schließlich am 18.05.2010 am Westportal durchgeschlagen werden, ohne dass messbare Erschütterungen oder gar Schäden an der Burg aufgetreten wären.

5.1 Vortriebs- und Maschinenkonzept

Durch die bauausführende Arbeitsgemeinschaft wurde eine schwere Teilschnittmaschine vom Typ WIRTH T3.20 (Bild 1, Tabelle 1) eingesetzt. Mit einer Schneidleistung von 300 kW und einem Gesamtgewicht von rd. 120 t entspricht diese Maschine der Klasse der sog. „schweren Teilschnittmaschinen“.

Tabelle 1: Technische Daten der eingesetzten Teilschnittmaschine WIRTH T3.20

TEILSCHNITTMASCHINE WIRTH T3.20	
Gewicht	120 t
Länge	16,6 m
Höhe	3,9 m
Breite über Fahrwerk	3,6 m
Gesamtmotorleistung	470 kW
Schrämlistung	300 kW
Max. Drehmoment	160 kNm
Drehzahl	20,36 / 41,2 U/min
Schneidkopfauslegung	Längsschneidkopf

Zur Verminderung der Staubbelastung wurde der Schneidkopf beim Schneiden über ein Bedübungssystem mit Wasser benetzt sowie entstehende Staubschwaden zusätzlich händisch mit einem Sprühstrahlrohr niedergeschlagen. Für die Bewetterung wurde eine Sauglutte mit Staubabscheider eingesetzt. Das Ausbruchsmaterial wurde vom Ladetisch der Maschine aufgenommen und über das Förderband auf einen Muldenkipper abgekippt.

Die Sicherung des ausgebrochenen Hohlraums erfolgte in Anlehnung an die Prinzipien der NÖT mit einer bewehrten Spritzbetonaußenschale und einer Systemankerung mit SWELLEX-Ankern.

5.2 Vergütungs- und Dokumentationskonzept

Um eine ausgewogene Risikoverteilung bei dem als technisch grenzwertig betrachteten Vortrieb zu gewährleisten wurde bereits im Vorfeld des Hauptvortriebs ein Vergütungsmodell vereinbart, das die Vergütung über 5 Fräsbarklassen vorsah. Diese Klassen wurden während des Vortriebs in Abhängigkeit der relevanten felsmechanischen Eigenschaften des angetroffenen Gebirges definiert. Eingangsparameter waren:

- ▶ Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit des Gesteins
- ▶ Zähigkeit des Gesteins

► Zerlegungsgrad des Gebirges

Die Relevanz dieser Faktoren und die im Rahmen der Machbarkeitsstudie angesetzten Zusammenhänge (u.a. das in Bild 4 dargestellte Fräseleistungsdiagramm) waren bei den Versuchen im Vortrieb des Tunnels Amtmann eindrucksvoll bestätigt worden.

Voraussetzung für dieses Vergütungsmodell war jedoch eine intensive geologisch-geotechnische Betreuung des Vortriebs, die im Vier-Augen-Prinzip durch das Büro Geoproject, Bozen im Auftrag des Bauherrn und durch die Arbeitsgemeinschaft Baubegleitung Tunnel Sonnenburg, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried – hbpm Ingenieure, Brixen im Auftrag der bauausführenden Arbeitsgemeinschaft ausgeführt wurde. Im Rahmen dieser Betreuung wurde ein für ein Projekt dieser Größenordnung vermutlich einzigartiges Programm aus repräsentativen Probenahmen, felsmechanischen Laborversuchen und Leistungs- und Verschleißdokumentationen durchgeführt.

5.3 Angetroffene Geologie

5.3.1 Schichtenfolge/Lithologie

Die erwarteten geologischen Verhältnisse haben sich im Zuge der Bauausführung bestätigt (2). Es standen ganz überwiegend dunkelgrau gefärbte, z.T. graphitführende Quarzphyllite an, die Bereichsweise von cm- bis dm-mächtigen, milchig-weiß gefärbten Quarzzwischenlagen, Quarzbändern und quarzitischen Phyllitlagen durchzogen werden.



Bild 5: Ausbruch mit der schweren Teilschnittmaschine in Quarzphylliten. Durch die geringe Zerlegung des Gebirges sind die Schneidspuren jedes Meißels an der Ortsbrust deutlich erkennbar (Foto: Plinninger).

5.3.2 Gesteinsfestigkeiten

Um eine zeitnahe und baustellentaugliche Bewertung der Einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit zu ermöglichen, wurden vor Ort Punktlastversuche als mittelbares Prüfverfahren durchgeführt (Bild 6).

Durch die einvernehmliche Probenahme und Prüfung im Vier-Augen-Prinzip wurde sichergestellt, dass für jeden Abschlag repräsentative Kennwerte ermittelt wurden. Die Mittelwerte der Einaxialen Druckfestigkeit lagen bei rd. 70 MPa, wobei auch Spitzenwerte bis über rd. 175 MPa erreicht wurden.



Bild 6: Punktlastversuch vor Ort. Durch die Anwendung dieses indirekten Prüfverfahrens an unregelmäßigen Handstücken („irregular lump test“) konnten zeitnah und in ausreichender Menge repräsentative Indexwerte für die Einaxiale Druckfestigkeit ermittelt werden (Foto: Plinninger).

Ergänzend zu den Punktlastversuchen wurden im Labor Spaltzugversuche durchgeführt, die in Kombination mit den Druckfestigkeitskennwerten die Bewertung der Gesteinszähigkeit über den als „Zähigkeitskoeffizient“ Z bezeichneten Quotient aus Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit erlaubten.

Die angetroffenen Quarzphyllite zeichneten sich meist durch ein zähes Verhalten aus.

5.3.3 Gesteinsabrasivität

Zur Bewertung der Gesteinsabrasivität wurden durch die Arbeitsgemeinschaft Baubegleitung insgesamt 25 Indexversuche nach dem CERCHAR-Verfahren durchgeführt.

Mit einem mittleren CERCHAR Abrasivitätsindex CAI von 3,0 sind die angetroffenen Quarzphyllite als „sehr abrasiv“ einzustufen. Untersuchungen an Gangquarzlagen ergaben erwartungsgemäß extrem hohe CAI-Werte von bis zu 5,5.

5.3.4 Zerlegungsgrad des Gebirges

In den Phylliten lag meist eine intern blättrige bis plattige (mm-cm) Schieferung vor, die jedoch nur bereichsweise durch die Teilschnittmaschine aktivierbar war. Bei der Dokumentation der Fräsanbeiten konnte beobachtet werden, dass das Gebirge durch die Teilschnittmaschine ganz überwiegend zerspannt werden musste (siehe auch Bild 5). Nur teilweise war es möglich, nennenswerte Anteile des Gebirges entlang von Trennflächen aus dem Verband zu reißen. Die Leistung der Teilschnittmaschine orientierte sich daher am „Minimum“-Graphen der in Bild 4 dargestellten Fräseleistungskurve.

5.4 Frä- und Vortriebsleistung

Datengrundlage für die Bewertung der Lösbarkeit des Gebirges sind die durch die bauausführende Firma detailliert geführten Schichtberichte sowie regelmäßige Dokumentationen einzelner Fräsaufschlüsse, die durch die Arbeitsgemeinschaft Baubegleitung etwa dreimal wöchentlich durchgeführt wurden und die die sekundengenaue Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte umfasste.

Aus diesen Daten konnten u.a. Trends zur Leistung und zum Verschleiß (Bild 7) abgeleitet werden, die gut die auch dem Vergütungsmodell zugrundegelegten Erfahrungen bestätigten. So ist in Bild 7 beispielsweise die negative Korrelation von Verschleiß und Leistung deutlich erkennbar, d.h. in festeren Gebirgsbereichen wurden niedrige Leistungen bei gleichzeitig hohem Werkzeugverschleiß erreicht, und umgekehrt.

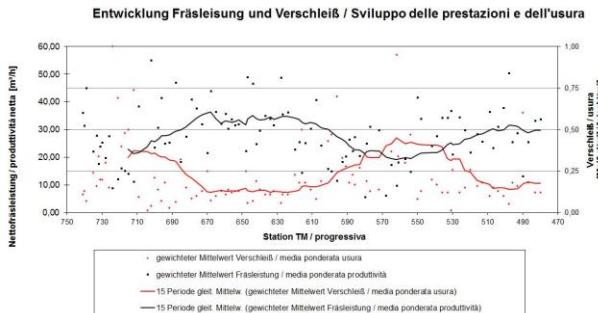


Bild 7: Ganglinien des spezifischen Werkzeugverschleißes (rot) und der Nettoschneidleistung (schwarz) für den Vortrieb des Tunnels Sonnenburg. (aus: 2)

Die mit den Schichtberichten dokumentierten Bruttofräseleistungen liegen zwischen rd. 5 m³/h und rd. 41 m³/h und betragen im Mittel rd. 19 m³/h. Für die Korrelation mit den Gebirgskennwerten deutlich signifikanter ist jedoch die erreichte Nettofräseleistung, die unter Abzug jeglicher Nebenarbeitszeiten und Leerlaufzeiten ausschließlich die Arbeitszeit berücksichtigt, in der der

Fräskopf im Eingriff ins Gebirge steht. Hier wurde im Mittel eine Leistung von rd. 28 m³/h (netto) erreicht, was gemäß Klassifizierung nach (8) als „geringe“ Leistung zu bezeichnen ist.

Mit diesen Fräseleistungen war es möglich, eine mittlere Vortriebsleistung von rd. 4 m pro Arbeitstag zu erreichen, die besten Wochenleistungen lagen im Bereich von etwa 26 m pro Arbeitswoche.

5.5 Werkzeugverschleiß

Auf Basis der erwarteten, schwierigen Einsatzbedingungen wurde von der bauausführenden Arbeitsgemeinschaft ein Rundschaftmeißel System Glattschaft 38 mm mit gedrungener Bauform und massivem Hartmetallstift Ø 22 mm eingesetzt, der sich bewährt hat.

Die Meißelwechsel am Schneidkopf der Teilschnittmaschine wurden durch die bauausführende Firma in den Schichtberichten vermerkt. Insgesamt wurden 3.153 Meißel ausgetauscht, im Mittel etwa 34 Stück pro Schicht. Der mittlere spezifische Meißelverschleiß lag bei 0,28 Meißel/m³ (Bild 7). Dieser Verschleiß ist unter Bezug auf die Klassifizierung nach (3) als „sehr hoher“ Verschleiß zu klassifizieren.

Insbesondere in Bereichen mit hoher Festigkeit und hohem Quarzanteil wurden aber auch „extrem hohe“ Verschleißraten von bis zu über 1,0 Meißel/m³ erreicht.

Die spezifischen Verschleißformen der Rundschaftmeißel wurden durch die Arbeitsgemeinschaft Baubegleitung im Rahmen von vier über die Bauzeit verteilten Auszählungen näher untersucht werden. Derartige statistische Auswertungen stellen ein wichtiges Hilfsmittel zur indirekten Bewertung der Verschleißursachen und zur Bewertung von Optimierungsmöglichkeiten am Werkzeug dar.

Mit jeweils rd. 30 % Anteil stellen asymmetrischer Verschleiß (M-So3) und Splitterbrüchen des Hartmetallstifts (M-S1) die weitaus häufigsten Ursachen für Werkzeugwechsel dar. Verschleißformen, die auf Abrasivverschleiß zurückzuführen sind (M-A1, A2 und A3) treten demgegenüber anteilmäßig zurück (Bild 8). An einigen Meißeln konnten zudem charakteristische, z.T. blauviolette Anlauffarben beobachtet werden, die als Hinweise auf Werkzeugtemperaturen von bis zu rd. 300°C gewertet werden können.

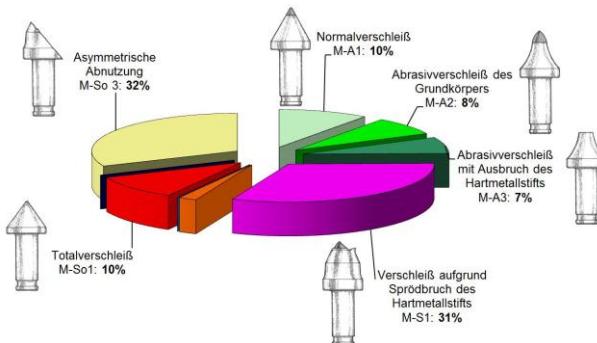


Bild 8: Tortendiagramm der angetroffenen Werkzeugverschleißformen (Klassifikation nach 3).

Die angetroffene Verteilung der Verschleißformen ist unter Berücksichtigung des massiven Meißeltyps als weiterer Hinweis auf die hohe Abrasivität und die hohe Festigkeit des Gebirges zu werten, die zu häufigem Sprödbruchversagen der Hartmetallstifte und Blockierern führte.

6 Fazit

Der Bau der Tunneltrasse unter der Sonnenburg und unter dem Amtmannsbühel zählte 2009/2010 zu einem der wichtigsten Verkehrsprojekte in Südtirol. Die beim Tunnelbau aufgetretenen Probleme konnten durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten letztlich erfolgreich gelöst werden.

Obwohl die geologischen Rahmenstände – kristalline Gesteinsfolgen mit Einaxialen Druckfestigkeiten von bis zu rd. 150 MPa – technisch zunächst nicht für einen Teilschnittmaschinenvortrieb sprachen, wurden die Vortriebsarbeiten für den Tunnel Sonnenburg mit einer schweren Teilschnittmaschine vom Typ WIRTH T3.20 mit geringsten Erschütterungsimmissionen an der darüberliegenden Burganlage durchgeführt. Das von der bauausführenden Firma eingesetzte Logistik- und Gerätekonzept hat sich dabei unter schwierigen Bedingungen bewährt.

Bewährt haben sich aber die im Zuge der Machbarkeitsstudie angesetzten Modelle zur Quantifizierung der Zusammenhänge von Festigkeit, Trennflächengefüge, Gesteinszähigkeit und Nettoschneidleistung einerseits sowie Festigkeit, Abrasivität und Werkzeugverschleiß andererseits. Diese Modelle haben als grundlegende Werkzeuge für die Risikobewertung zur realistischen Einschätzung der Möglichkeiten und zur Anwendung eines ausgewogenen Vertragsmodells beigetragen.

7 Quellennachweis

1. Arbeitsgemeinschaft Dr. Plinninger Geotechnik – hbpm Ingenieure (2009): Projekt Ausbau Pustertalerstrasse SS49 Abschnitt km 27+300 bis 29+000: Tunnel Sonnenburg / St. Lorenzen – Geotechnische Stellungnahme 2008_D_0032-1: Stellungnahme zur Fräsbarekeit des Gebirges, 47 Seiten, 22 Tabellen, 22 Abbildungen, 7 Anlagen, Bernried/Brixen, 14.01.2010.
2. Arbeitsgemeinschaft Baubegleitung Sonnenburg Dr. Plinninger Geotechnik – hbpm Ingenieure (2010): Geotechnischer Abschlussbericht zum Vortrieb Sonnenburg, 30 Seiten, 8 Anlagen, Bernried/Brixen, 30.08.2010.
3. 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).
4. Plinninger, R.J. (2011): Teilschnittmaschinen als alternatives Vortriebsverfahren im innerstädtischen Tunnelbau – Chancen und Risiken.- angenommen zur Publikation im Rahmen der 11. Tagung Ingenieurgeologie, Berlin.
5. 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).
6. Provinz Bozen (2010): Ausbau der Pustertaler Staatsstraße im Gemeindegebiet St. Lorenzen, Untertunnelung der Sonnenburg und Regelung der Zufahrt nach St. Lorenzen: Tunneldurchstich unter der Sonnenburg, 26.05.2010, Informationsbroschüre, herausgegeben durch das Assessorat für Bauten und Vermögen, ladinische Schule und Kultur, Crispistr. 2, 39100 Bozen, 12 Seiten.
7. Thuro, K.; Plinninger, R.J. (1998): Geologisch-geotechnische Grenzfälle beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. - Felsbau 16: 358-366.
8. Thuro, K. & Plinninger, R.J. (2002): Klassifizierung und Prognose von Leistungs- und Verschleißparametern im Tunnelbau.- in: DGTT (ed.): Taschenbuch für den Tunnelbau 2003, 27: 62-126, Essen (Glückauf).