

Hauptzugangsstollen Nant de Drance

Anpassung des TBM-Designs an die spezifischen Projektbedingungen und erste Vortriebserfahrungen

M. Weh, Marti Holding AG, Bern

F. Bertholet, Marti Tunnelbau AG, Bern

1 Vortragsgliederung

1. Vortragsgliederung
2. Projektübersicht Nant de Drance
3. TBM- und Nachläuferkonzept
4. Vortriebsleistung
5. Penetration
6. Meisselverschleiss

2 Projektübersicht Nant de Drance

2.1 Situation

Beim Projekt Nant de Drance handelt es sich um die Neuerstellung eines Pumpspeicherwerks, das im Auftrag von Alpiq (54%), SBB (36%) und FMV (10%) durch die ARGE GMI (Marti und Implenia) von 2008 bis 2016 gebaut wird.

Das Bauwerk verbindet die beiden bestehenden Stauseen Emosson und Vieux Emosson mit einem Gefälle von 255-390m und verfügt über eine installierte Leistung von 600MW.

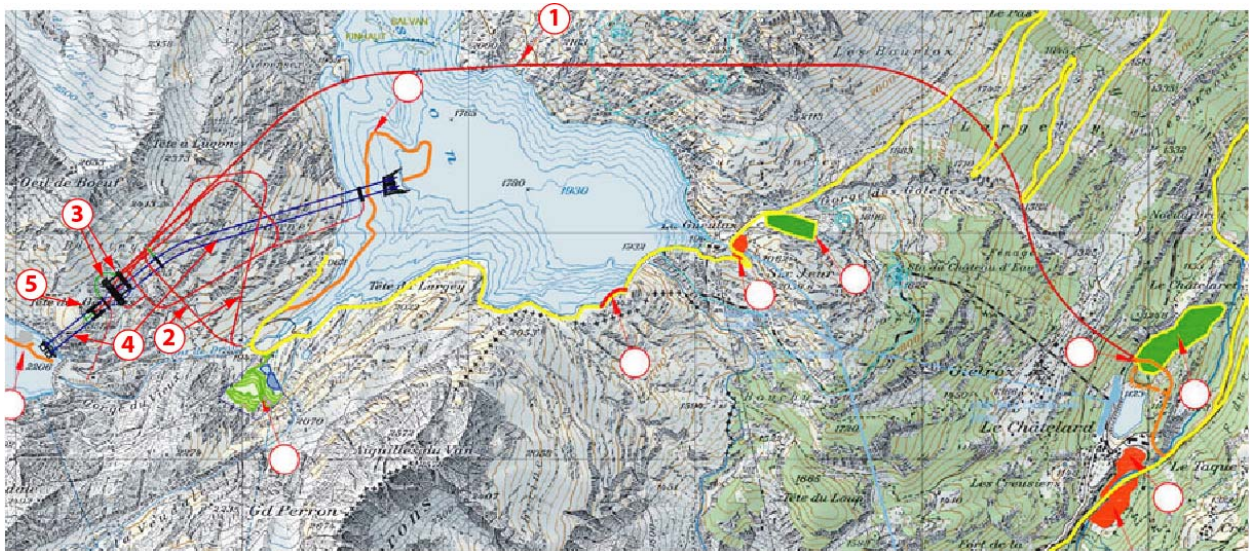
Zweck dieses Bauwerkes ist es elektrische Energie zu speichern um beim Spitzenstrombedarf Angebot und Nachfrage besser ausgleichen zu können.

Hierzu werden die folgenden Untertagebauten erstellt:

1. Hauptzugangsstollen (ZTH) von 5'700m Länge und 70m² Querschnittfläche
2. Stollensystem Emosson (ca. 4'300m Länge und ca. 45-50m² Querschnittfläche)
3. Maschinen- (35 x 52 x 143 m) und Trafokaverne (23 x 25 x 127 m)
4. Triebwasserwege, ca. 3'300m und ca. 47m² Querschnittsfläche
5. Fallschächte, Höhe 470m, 38m² Querschnittfläche

In der folgenden Darstellung sind die einzelnen Bauwerke mit den entsprechenden Nummern eingetragen.

Begonnen wurde im Jahr 2009 mit dem Ausbruch der Zugangstunnels. Im Hauptzugangsstollen (1), der eine Neigung von 12% aufweist, nahm im Januar 2010 eine Hartgesteins-TBM den Vortrieb auf. Der Ausbruch der anderen Zugänge, der Kavernen und der Triebwasserwege erfolgt im Sprengvortrieb.



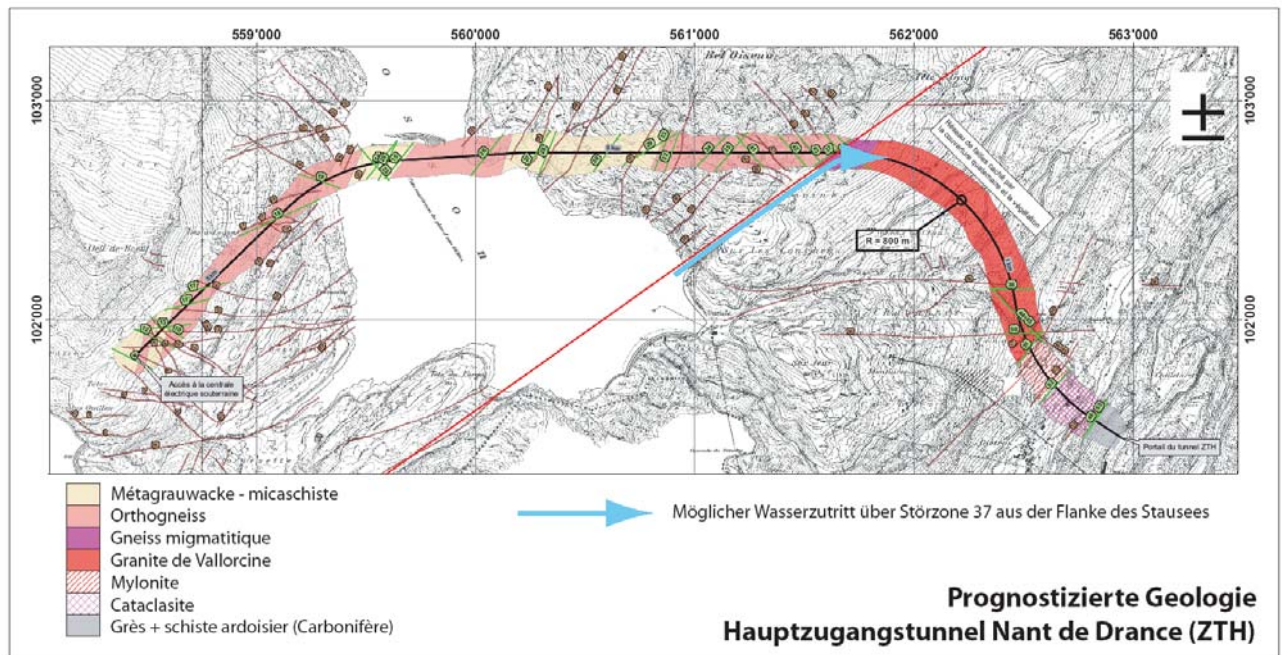
2.2 Geologie des Hauptzugangsstollens

Im Hauptzugangsstollen werden die folgenden geologischen Einheiten erwartet:

Gestein	Länge
Permokarbon	150.0 m
Mylonite/Kataklasite	340.0 m
Vallorcine Granit	1'040.0 m
Migmatitische Gneise	707.5 m
Orthogneis	2'477.5 m
Metagrauwacke	965.0 m

Die Störzone Nr. 37 wird auf Grund ihres Auftretens an der Oberfläche auch im Tunnel vermutet. Da die Störzone direkt den Flankenbereich der Bogenstaumauer von Emosson entwässern könnte, muss beim Durchqueren dieser Störzone ein besonderes Augenmerk auf allfällig mögliche Wasserzutritte gelegt werden. Dies bedeutet, dass die gesamte Zone mit Preventerbohrungen vorauserkundet wird. Werden bedeutende Wasserzutritte angetroffen, muss das Gestein vor der Ortsbrust mittels Injektionen abdichtet werden. Für die Seeunterquerung, für die Annäherung an den Kavernenbereich und für die Durch-

querung anderer Störzonen ist vorgesehen das Gestein mittels destruktiver Bohrungen ohne Preventer voraus zu erkunden.



3 TBM-+NL-Konzept

Der Hauptzugangsstollen wird mit einer Hartgesteins-TBM der Firma Herrenknecht aufgeföhren.

Es handelt sich dabei um eine jener Tunnelbohrmaschinen, die schon am Lötschbergbasistunnel im Einsatz waren. Die notwendigen Umbauten im L1-Bereich und der Neubau des Nachläufers incl. der Bandanlage wurden von der Marti Technik AG ausgeführt.

Es galt dabei die TBM an die spezifischen Projektbedingungen anzupassen:

- Steigung 12%
- Enge Kurvenradien (500m)
- Destruktive Vorausbohrungen mit und ohne Preventer
- Falls an kritischen Stellen Wasser erkundet wird, muss das Tunnelumfeld mittels Injektionen abgedichtet werden können.
- Wenig Platz am Portal für die Installation

Die TBM weist die folgenden Kennwerte auf:

- Bohrdurchmesser mit neuen Meisseln 9.45m

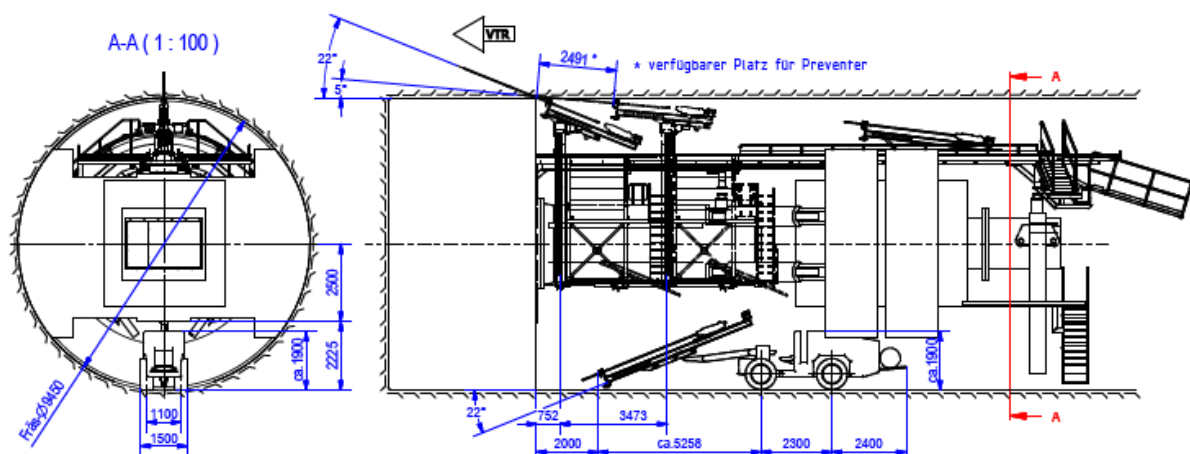
- 17“ Meissel, gesamthaft 61 Stück
- Max. Anpressdruck 18'000 kN
- Max. Drehmoment 5'570kNm (bei max. Drehzahl)
- Umdrehungen 0 – 6 pro Minute
- Motorenleistung 10 x 350 kW

Im Vergleich zum Löttschbergbasistunnel wurden die Plattformen im L1-Bereich massiv verlängert. Das Netzversetzgerät und ebenfalls die Kabinen der beiden Bohrlafetten wurden weggelassen.

Das Sondierbohrgerät ist mittig über dem Gripper so angeordnet, dass der Transportschlitten darüber hinweg fahren kann. Im vorderen Teil der Plattform ist ebenfalls mittig der Spritzbetonroboter angeordnet. Die Ankerbohrgeräte im L1 befinden sich zwischen Fingerschild und Plattform und können das gesamte Tunnelprofil abdecken. Die Anker und die Netze werden von der Plattform aus versetzt.

Das Injektionsbohrgerät zusammen mit dem oberen Teil des Ringbohrgeräteträgers wird erst zu dem Zeitpunkt montiert zu dem es eingesetzt werden muss.

Mögliche Injektionsbohrungen in der Sohle werden mit einem einarmigen Bohrjumbo ausgeführt.



Im L1-Bereich werden in den am meisten zu erwartenden Profiltypen Swellex-Anker versetzt. Im L2-Bereich sind zwei weitere Bohrgeräte angeordnet, mit denen man die Löcher für Mörtelanker, die permanente Tunnelsicherung, bohrt.

Direkt im Fingerschild befindet sich ein Bogenversetzgerät. Die Bogen werden mit einem Transportschlitten über das Sondierbohrgerät und den Spritzbetonroboter hinweg nach vorne gebracht.

Der Nachläufer ist 148m lang, besteht aus insgesamt 6 Teilen und musste am Portal auf Grund der beschränkten Platzverhältnisse seitlich vormontiert, stückweise eingehoben und vorgeschoben werden.

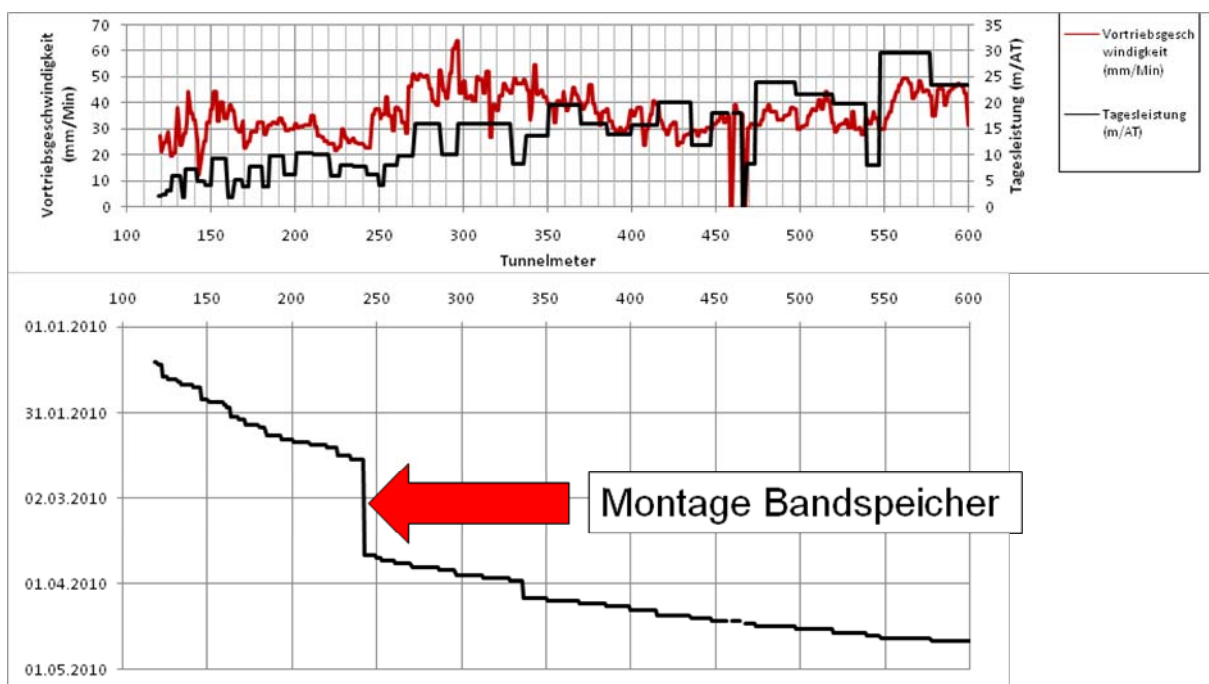
Weil die Sohle erst hinter dem Nachläufer eingebaut wird, fahren Versorgungsfahrzeuge über die Aus-

bruchssohle in den Nachläufer. Die Nachläufer selber fahren auf Vorlegestössen. Sämtliche Geräte auf denen Flüssigkeiten umgeschlagen oder verarbeitet werden, mussten in ihrer horizontalen Ausrichtung an die Tunnelneigung von 12% angepasst werden.

Das Ausbruchmaterial wird auf dem letzten Nachläufer auf das Tunnelband übergeben. Dieses Band hat eine Breite von 1000mm und muss mittels mehrerer Boosters zusätzlich gebremst werden. Am Portal wird das Ausbruchmaterial über einen schwenkbaren Auslegerarm auf die verschiedenen Zwischendeponien abgeworfen. Unbrauchbares Material wird direkt unterhalb des Portals in die Deponie Chatelard eingebaut, brauchbares Material wird nach Trient transportiert und dort zu Betonzuschlagstoffen verarbeitet.

4 TBM-Vortriebsleistung

Der TBM-Vortrieb wurde am 11.01.10 bei TM 115 aufgenommen und stand am 27.04.2010 bei TM 682. Bis zur Montage des Bandspeichers bei TM 245 wurde mit Dumpfern geschüttet, die TBM wurde daher auf diesen Abschnitten mit reduzierter Vortriebskraft und reduzierter Drehzahl gefahren.



Danach korreliert die tägliche Vortriebsleistung stark mit der erreichbaren Vortriebsgeschwindigkeit.

Weil das Ausbruchmaterial zum grössten Teil nicht blockig ist, konnte nahezu auf der gesamten bisherigen Vortriebsstrecke mit einer Drehzahl von 6U/Min gefahren werden.

Dies bedeutet, dass die Penetration der massgebende Faktor für die tägliche Vortriebsleistung ist.

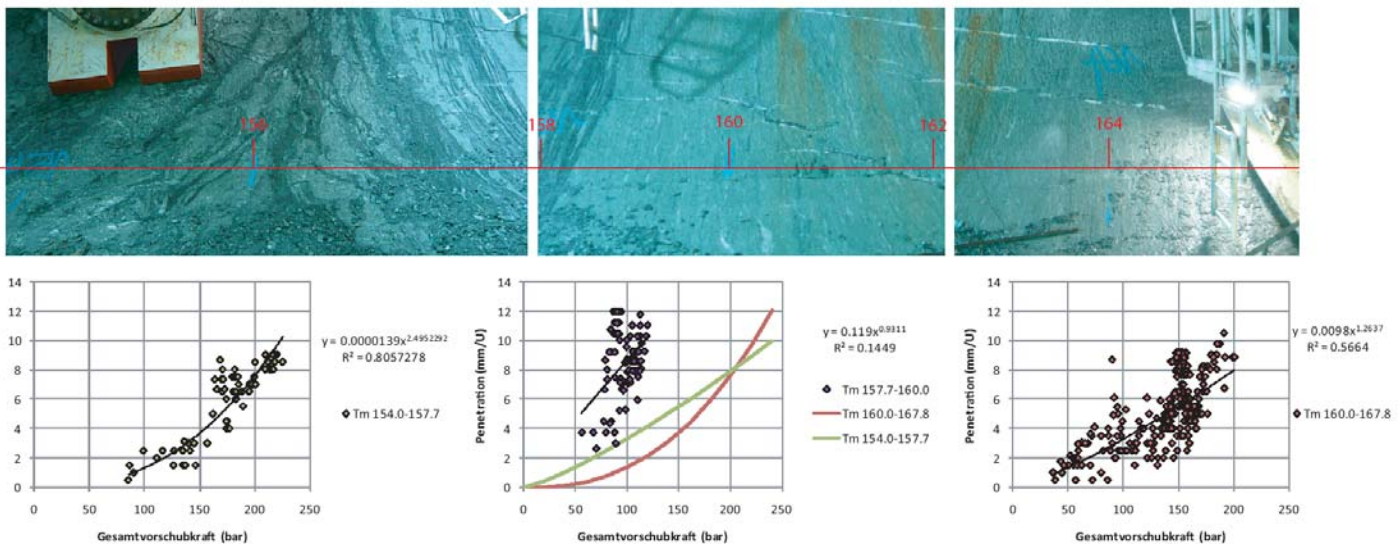
Anhand eines Fallbeispiels kann besonders gut aufgezeigt werden, wie sehr die Penetration von der Gesamtvorschubkraft und den Gesteinsbedingungen abhängig ist.

Zwischen TM 156 und 164, auf dem Abschnitt des Permokarbons, wechselten die geologischen Bedingungen stark. Vor TM 158 traten grünliche Gneise mit unregelmässig verteilten Bändern von Schieferen auf. Bei TM 158 lagen konzentriert mehrere Scherzonen mit graphitischen, schiefrigen Kataklasiten parallel zur Ortsbrust. Danach folgten massige, helle Gneise mit einer sehr geringen Anzahl an Trennflächen.

Entsprechend den geologischen Bedingungen schwankten die massgebenden TBM-Parameter stark.

Die Vorschubkraft musste auf dem Abschnitt mit den Scherzonen um ca. 50% reduziert werden, die Penetration nahm von 7 auf 10mm/U zu.

Besonders deutlich werden die unterschiedlichen Maschinenparameter, wenn man die 10-Sekundendaten der TBM für die Startphase des Hubes, wenn die Gesamtvorschubkraft hochgefahren wird, miteinander vergleicht.

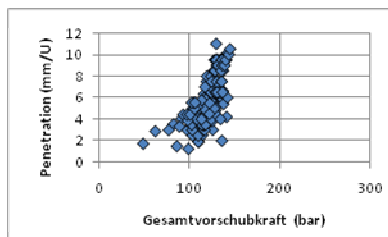
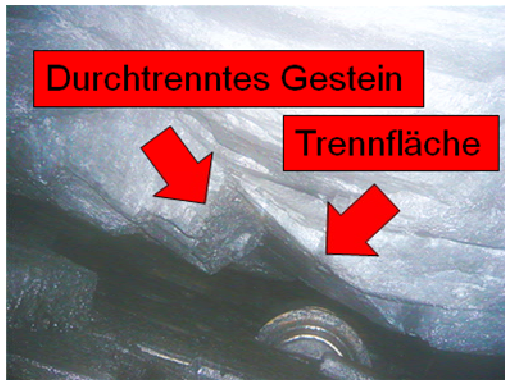


Die Neigung mit der die Kurve ansteigt ist demnach ein Ausdruck für die Gebirgsfestigkeit an der Ortsbrust. Sie ist daher auch der beste Ausdruck für den Aufwand, den man treiben muss, um ein Gestein mit einer TBM abzubauen.

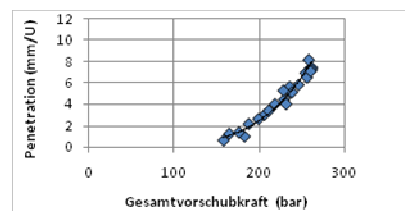
Sie ist daher auch ein geeignetes Instrument, um ausgehend von den TBM-Daten den Aufwand für das Bohren festlegen zu können.

Allerdings gibt es auch hierzu Einschränkungen. Auf der Vortriebsstrecke mit den Karbonschiefern wurde die Tunnelbrust instabil (s. folgendes Bild links)

Vortrieb in Karbonschiefer



Gneis

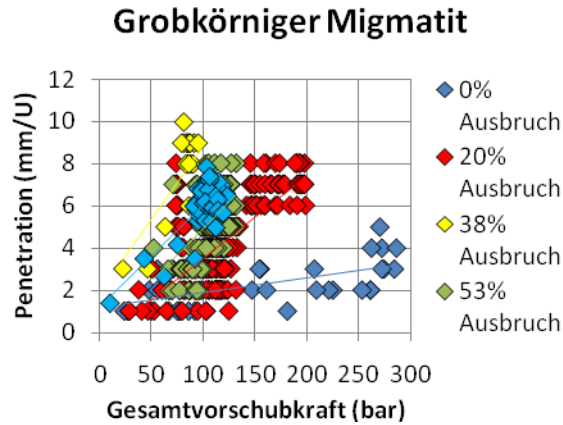
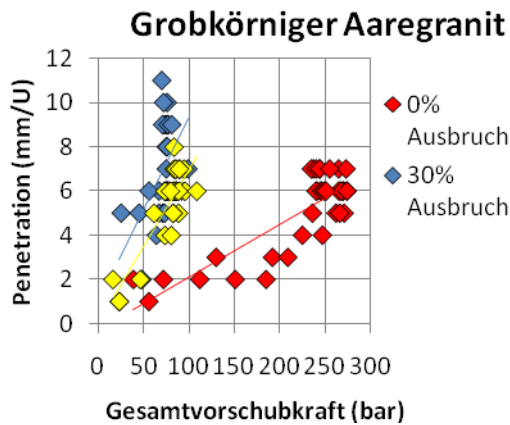


Die Penetration nimmt im Verhältnis zur Gesamtvorschubkraft stark zu. Im gesunden Gneis fällt die Zunahme viel geringer aus. Dies ist auf die höhere Gesteinsfestigkeit und das Fehlen von Trennflächen zurück zu führen. Es gibt aber auch den Fall, bei dem auch ohne Trennflächen und bei hoher Gesteinsfestigkeit die Kurve steil ansteigen kann.

In den folgenden Diagrammen sind Werte vom Lötschbergbasistunnel aufgeführt. In den beiden gezeigten Fällen, kam es infolge von hohen Spannungsumlagerungen an der Ortsbrust zu Ausbrüchen. Je stärker die Ausbrüche auftraten, um so stärker nahm die Penetration in Abhängigkeit der Vorschubkraft zu.

Diese Abweichung ist wie folgt erklärbar:

- Die wenigen Meissel, die noch an der Ortsbrust aufliegen, werden mit massiv höheren Vorschubkräften beaufschlagt.
- Die Ortsbrust wird durch die Spannungsumlagerungen stark geschwächt. Es entstehen entweder zusätzliche Trennflächen oder es werden vorhandene Trennflächen aktiviert und das Gestein wird an ihnen vereinfacht abgeschert. Die Meissel können daher vermehrt den Fels seitlich gegen freie Flächen hin abscheren, was den Energieaufwand beim Abbau des Gesteins massiv reduziert.



Obwohl instabile Verhältnisse zu einer höheren Penetration führen, können sie die Vortriebsleistung einer TBM einschränken, da blockiges Material gefördert wird und dieses Material zu Schäden an den Abbauwerkzeugen und zu Problemen auf den Transport- und Weiterverarbeitungsanlagen führen kann. Der TBM-Fahrer muss dann die Vortriebskraft und die Drehzahl der TBM reduzieren.

Der Übergang von trennflächen- zu spannungsbedingten Ausbrüchen an der Ortsbrust ist ein fließender. Mit trennflächenbedingten Ausbrüchen in der Ortsbrust muss in jedem Vortrieb gerechnet werden bei dem Schwächezonen in ungünstiger Orientierung zur Tunnelbrust liegen.

Mit spannungsbedingten Ausbrüchen muss nur bei einem ungünstigen Verhältnis der Gebirgsspannung zur Gebirgsfestigkeit gerechnet werden.

Wenn es gelingt den letzten Fall genau abzugrenzen und zu definieren, so ist der Anstieg der Penetration in Abhängigkeit der Vorschubkraft das beste Mittel um den Bohraufwand einer TBM festzulegen.

5 Meisselverschleiss

Vergleichbar den Erläuterungen zur Penetration wird auch beim Meisselverschleiss auf einige Besonderheiten fokussiert.

In den Karbonschiefern traten erhöhte Bergwasserzutritte auf.

Obwohl die Schiefer ton- und graphithaltig sind, kam es in Zusammenhang mit dem Wasser nicht zu Verklebungen (s. folgendes Bild links). Dieses Fehlen von Verklebungen ist auf zwei Ursachen zurück zu führen:

- Bei einem Siebtrommelversuch blieb auch beim zweiten Durchgang noch 99% des Ausgangsmaterials in der Trommel, was bedeutet, dass das Material gegenüber Wasserzutritten als nicht veränderlich einzustufen ist.
- Der Anteil an feinkörnigem Ausbruchmaterial war zwar hoch. Dass es trotzdem nicht zu Verklebungen gekommen ist, ist auf den mechanischen Abrieb zurück zu führen, der entsteht, wenn das grobkörnige Material am verklebten, feinkörnigen Material vorbeiströmt.

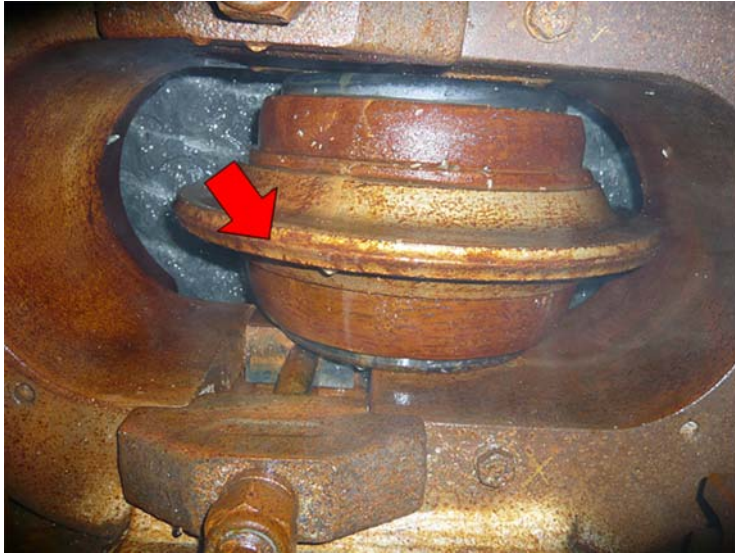


Dies bedeutet, dass sich Verklebungen nur dann einstellen, wenn sich im Ausbruchmaterial ein massgebender Anteil an verklebungsfähigem Material befindet. Verklebungsfähig bedeutet demnach, dass dieses Material entweder gegenüber Wasser veränderlich ist oder schon in einer geringen Konsistenz vorliegt.

In den Karbonschiefern schärften sich die Meissel in der Mitte der Schneidfläche zu (Kammbildung durch Selbstschärfeeffekt der Meissel). Dieser Selbstschärfeeffekt ist typischerweise in Vortrieben mit geringen Gesteinsfestigkeiten und geringer bis mittlerer Abrasivität zu erkennen, z.B. TBM-Vortrieb in der Molasse. In typischem Hartgestein konnte der Selbstschärfeeffekt bis anhin nur in Tonschiefern

(Aalenientonschiefer am Löttschbergbasistunnel, oder Mergelsteinen (Tunnel de Bure)) beobachtet werden.

In den nachfolgenden Gneisen wurde dieser Kamm wieder weggeschliffen und die Meissel entwickelten flache Schneidflächen.



Auf Grund der geringen Anzahl von Meisselwechselln, konnten die Meissel mit wenigen Ausnahmen immer während der Serviceschicht gewechselt werden. Die Meisselwechsel haben daher, obwohl der Vortrieb in kristallinem Hartgestein stattfindet, die TBM-Vortriebsleistung bisher nur unwesentlich beeinträchtigt.