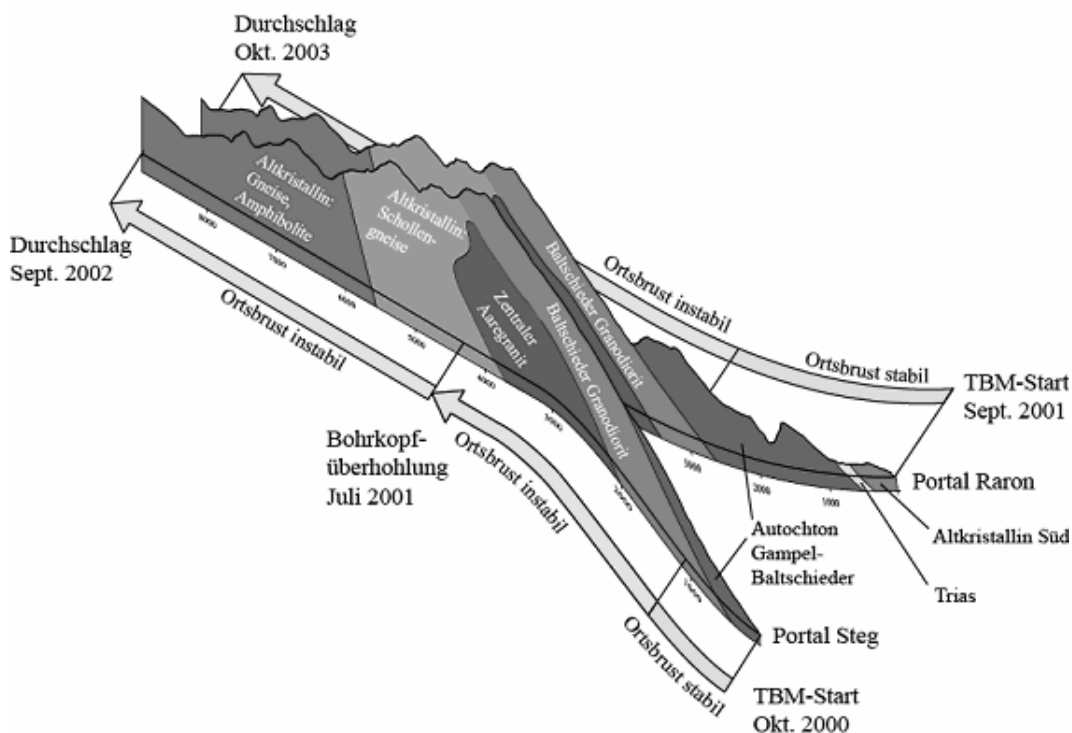


TBM-Hartgesteinsvortriebe auf den Abschnitten Raron und Steg am Lötschberg: Erfahrungen und vertragliche Konsequenzen

Dr. Markus Weh¹,
¹ Marti Tunnelbau AG, Freiburgstr. 133, 3000 Bern 5

EINLEITUNG

Zwischen Oktober 2000 und Oktober 2003 hat die ARGE MaTrans, bestehend aus den Firmen Marti Tunnelbau AG, Züblin mit der Walter Gruppe, Porr und Balfour Beatty mit zwei Tunnelbohrmaschinen 18km des Lötschbergbasistunnels aufgefahren. Die erste der beiden TBM's ist in Steg im Oktober 2000 gestartet, die zweite in Raron im September 2001.



Figur 1. Schematische Darstellung der aufgefahrenen Tunnelabschnitte auf den Südabschnitten des Lötschbergbasistunnels

Ab ca. Vortriebsmeter 3000 ab Portal Steg laufen die beiden Zugänge zusammen und liegen danach auf der weiteren Strecke nach Norden parallel. Auf Grund dieser Gegebenheit durchquerten die beiden Vortriebe mit Ausnahme der altkristallinen Gesteine am Portal Raron die gleichen geologischen Einheiten:

- Autochton Gampel-Baltschieder: Tonschiefer, Kalk- und Mergelstein
- Baltschieder Granodiorit: 50% Granodiorit und 50% Gneis
- Zentraler Aaregranit: Grobkörnige Granite, selten feinkörnig
- Altkristalline Schollengneise: Fein- grobkörnige, granitische Gneise
- Altkristalline Gneise: Geschieferte-massige Gneise und Amphibolite

GEOLOGISCHE PROGNOSE UND AUSSCHREIBUNG DER MECHANISIERTEN VORTRIEBSARBEITEN

In der geologischen Prognose wurden die Vortriebsstrecken in Prognoseabschnitte unterteilt. Dabei handelt es sich um Homogenbereiche in denen die Gesteine auf Grund ihrer einheitlichen geotechnischen Eigenschaften zusammengefasst wurden.

Für jeden Homogenbereich wurde die Verteilung der zu erwartenden Gesteinstypen angegeben. Diese Gesteinstypen wurden mit Gesteinskennwerte näher definiert. In der Regel wurden die Gesteinskennwerte an Probenmaterial aus Bohrungen ermittelt. Auf den zentralen Bereichen auf denen keine Bohrungen vorlagen, wurden sie angenommen. Die Gesteinskennwerte wurden wie folgt angegeben: Mittelwert, Standardabweichung, Minimal- und Maximalwert und Anzahl der Untersuchungen.

Zusätzlich definierte der Bauherr gesamthaft 9 Profiltypen und gab für jeden Prognoseabschnitt die zu erwartende Verteilung der Profiltypen an.

Obwohl sowohl harte Gesteine, wie z.B. Granite als auch weiche Gesteine wie Tonschiefer prognostiziert wurden, schrieb der Bauherr nur eine Bohrklasse aus. Der Werkzeugverschleiss und dessen Einfluss auf die Vortriebsleistung war ebenfalls in die Einheitspreise der Profiltypen einzurechnen.

Ausgehend von diesen Vorgaben hatte der Unternehmer seinen Vortrieb wie folgt zu planen und zu kalkulieren:

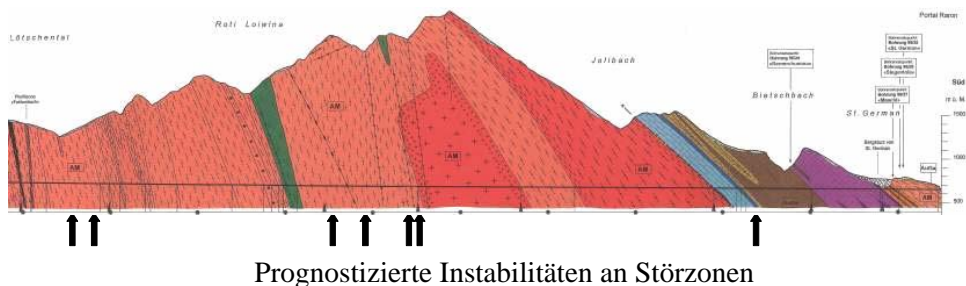
- Zuordnung der Gesteinstypen zu den Profiltypen für jeden Prognoseabschnitt
- Ermittlung der Bohrgeschwindigkeit (v.a. basierend auf den vorgegebenen mittleren Einachsigen Druckfestigkeiten)
- Ermittlung der Sicherheitszeit/Hub je Profiltyp
- Bestimmung der Hubdauer anhand der Gegenüberstellung von Bohrzeit/Hub zu Sicherheitszeit/Hub
- Bestimmung der täglich erreichbaren Vortriebszeit: 24h/AT – Unterhaltsschicht – Ausfälle
- Bestimmung der Sollleistung (täglich erreichbare Vortriebszeit/Hubdauer*Hublänge) und Kosten für jeden Profiltyp
- Auslegung der TVM auf die maximal zu erwartenden Gesteinskennwerte

Instabilitäten in der Ortsbrust oder im Profil wurden an Scherzonen und Störungen erwartet und auf weniger als 0.5% der Streckenlänge prognostiziert.

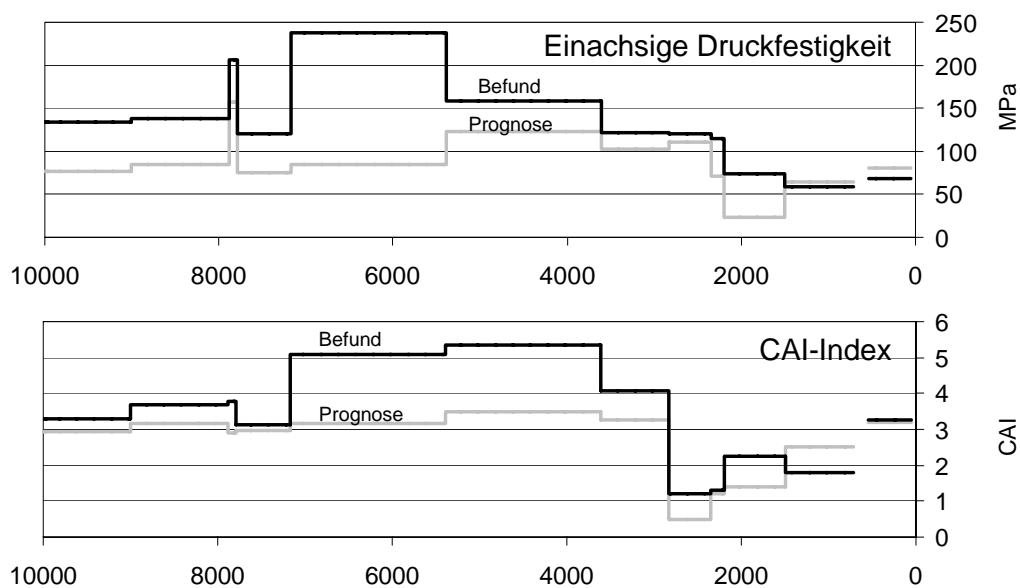
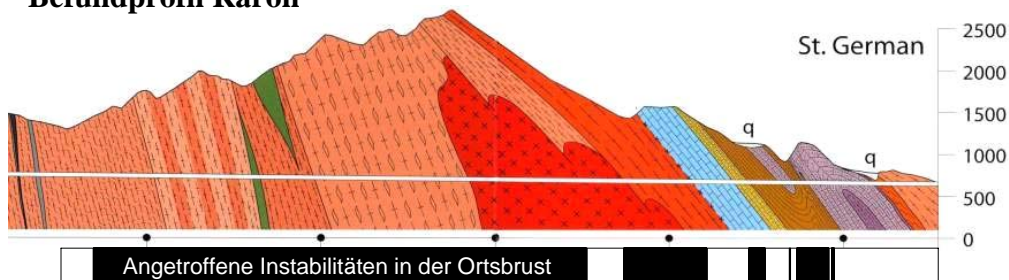
GEOLOGISCHER BEFUND

Genau gleich wie in der Prognose wurde beim Vortrieb der Tunnel in Streckenabschnitte mit homogener Geologie unterteilt. Die Gesteinstypen, die einen Abschnitt aufbauen, wurden repräsentativ beprobt und im Labor auf ihre Gesteinseigenschaften hin analysiert.

Die grössten Abweichungen zwischen Prognose und Befund traten bei den Gesteinskennwerten CAI und Einachsige Druckfestigkeit auf und waren auf jenen Abschnitten zu verzeichnen auf denen der Bauherr die Gesteinskennwerte angenommen hatte. Zusätzlich traten auf 68% der Strecke unerwartete Instabilitäten in der Ortsbrust auf.



Befundprofil Raron



Figur 2: Gegenüberstellung Prognose-Befund

AUSWIRKUNGEN AUF DEN VORTRIEB

Mit der Unterteilung der Vortriebsstrecke in Homogenbereiche liessen sich auch die Vortriebskennwerte exakt den geologischen Kennzahlen gegenüberstellen. Vor allem für die Penetration und den Meisselverschleiss liessen sich dabei Korrelationen herleiten, wie sie in der Literatur (z.B. bei Gehring, 1995) schon beschrieben worden sind. Die geologischen Abweichungen der Gesteinskennwerte hatten auf den Vortrieb die folgenden Auswirkungen:

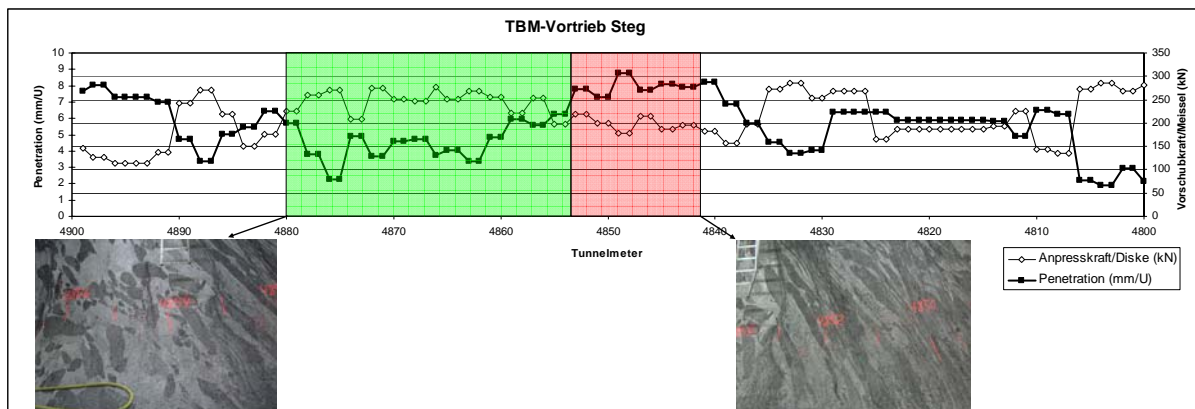
Gestein		Mengenveränderung	Bohrbarkeit	Abrasivität	Auswirkungen
Sedimente		mehr	leicht	gering	+
Kristalline Schiefer		weniger	leicht	gering	-
Gneis + Amphibolit	Schiefriger Gneis	weniger	leicht	mässig	-
	Massiger Gneis/Amphibolit	mehr	mässig	mässig	-
	Schollengneis	nicht prognostiziert	schlecht	hoch	--
Granit + Grandiorit		mehr	schlecht	hoch	--

Figur 3: Beurteilung wie sich die veränderten Gesteinskennwerte auf den Vortrieb auswirken

Penetration und instabile Ortsbrust

Die erhöhten Einachsigen Druckfestigkeiten von bis zu +179% in den Schollengneisen führten zu einer reduzierten Penetration. Die reduzierte Penetration konnte nicht durch eine höhere Drehzahl kompensiert werden und führte daher zu einer reduzierten Vortriebsgeschwindigkeit. Da in Folge des härteren Gebirges die Vibrationen im L1-Bereich der Maschine stark zunahmen, kam es zu einer Zunahme der Maschinenausfälle und zu einer Erhöhung des Wartungsaufwandes. Die Bruttovortriebsleistung der TBM nahm daher stark ab. Betrachtet man die erreichten Penetrationen so fällt auf, dass vor allem bei hohen Einachsigen Druckfestigkeiten vergleichsweise hohe Penetrationen erreicht wurden (4-5mm/U bei 270MPa Einachsige Druckfestigkeit).

Anhand der sehr harten Schollengneise lässt sich klar aufzeigen, dass die Ausbildung des Gefüges einen massiven Einfluss auf die Penetration hat. Auf dem grössten Teil der Strecke bestehen die Schollengneise aus runden Schollen von feinkörnigen schwarzen Gneisen, die in einer weissen, feinkörnigen Granitmatrix schwimmen. Abschnittsweise sind die runden Schollen an duktilen Scherzonen unter Ausbildung eines starken und penetrativen Gefüges stark geplättet. Es liegen demnach auf beiden Abschnitten mineralogisch die gleichen Gesteine vor, die sich nur in ihrem Gefüge unterscheiden.



Figur 4: Gegenüberstellung von Vorschubkraft, Penetration und Gefüge

Auf den Strecken auf denen Scherzonen im Tunnelprofil lagen, erreichte man eine hohe Penetration bei geringer Vorschubkraft (hohe spezifische Penetration). Deutlich sichtbar werden die Unterschiede zu Beginn eines Hubes, wenn der TBM-Fahrer die Vorschubkraft hochfuhr. Im granitischen Gneis stieg dabei die Penetration nur gering an, im geschieferten Gneis hingegen nahm sie nach dem Übersteigen einer minimalen Anpresskraft stark zu. Diese minimale Anpresskraft ist als jene Kraft zu interpretieren, die es braucht, um mit den sich unter Einwirkung der Meissel ausbildenden Rissen das gesunde Gebirge bis zur nächsten geologisch vorgegebenen Trennfläche zu durchtrennen.

Die Penetration von 3mm/U im Granit bei maximaler Vorschubkraft liegt in jenem Bereich, den man nach Berechnungen aus der Literatur für massigen Granit dieser Festigkeit erwarten würde. Der positive Effekt der hohen Penetration in den geschieferten Gneisen wird allerdings kompensiert durch die negativen Effekte der instabilen Ortsbrust.

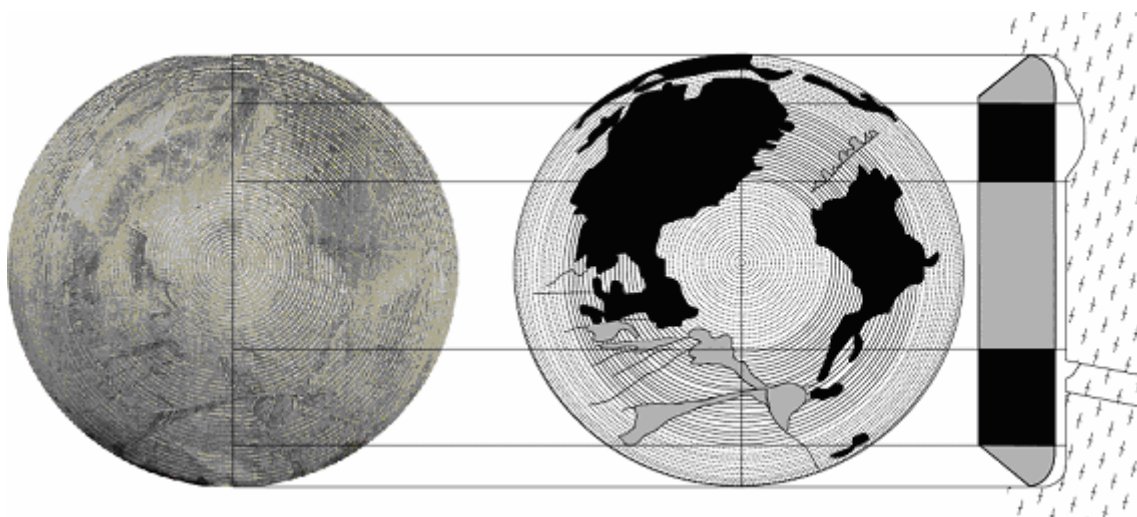
Genauso wie durch das Auftreten der Trennflächen in der Ortsbrust die Rissbildung unter den Meisseln erleichtert wird, nimmt auch das Ablösen von Platten in der Ortsbrust stark zu.

In den TBM-Vortrieben Steg und Raron wurde vorwiegend in den kristallinen Gesteinen des Aarmassivs ab einer Überlagerung von ca. 1000m die Ortsbrust instabil. Auf den Tunnelabschnitten davor waren auch schon Instabilitäten zu erkennen gewesen. Allerdings waren diese keilförmigen Ausbrüche von geringem Volumen und durch von Chlorit belegte Trennflächen begrenzt. Da solche Ausbrüche im Tunnelbau alltäglich sind, wurde mit ihnen gerechnet.

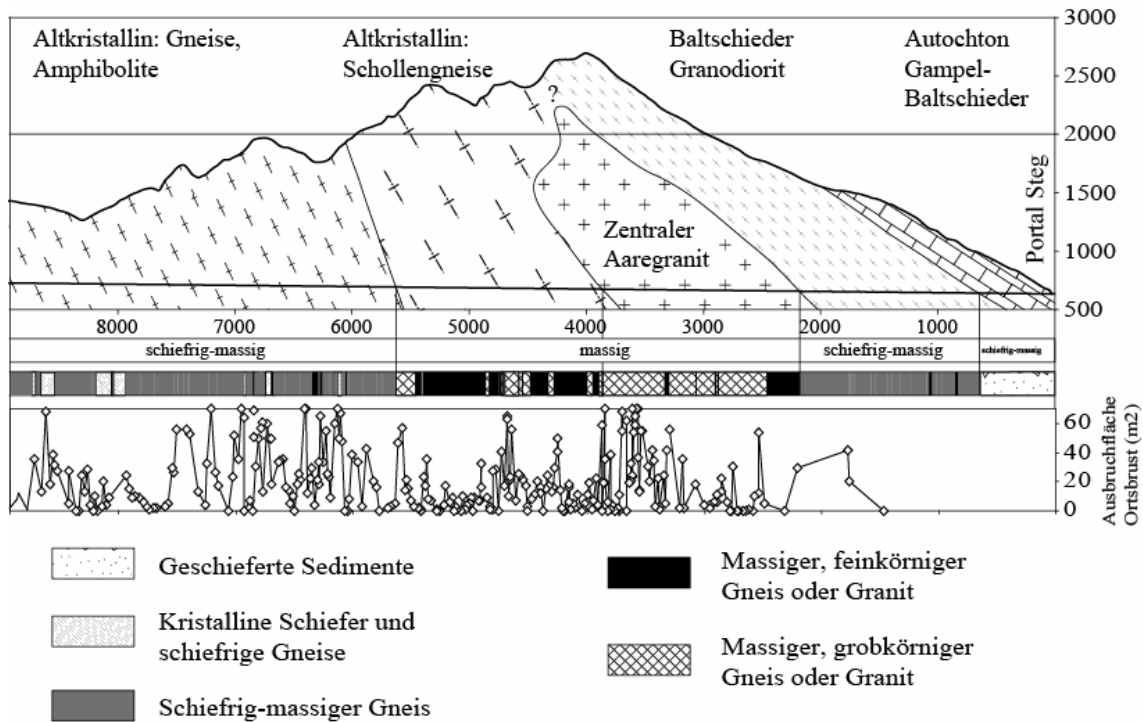
Auf den folgenden Tunnelabschnitten zeigte sich eine veränderte Situation. Die Ausbrüche aus der Tunnelbrust zeigten frische Bruchflächen und waren von schalenartiger Form. Zudem waren sie in einem Ring von 1.5 bis 4m Abstand zum Ortsbrustzentrum konzentriert.

Starke Zunahmen in der Tiefe und im Volumen erreichten die Ausbrüche in jenen Abschnitten, bei denen gehäuft subparallel zur Tunnelbrust orientierte, tektonische Bruchflächen auftraten.

Die Ursache für diese Bruchphänomene ist auf Spannungsumlagerungen in der Tunnelbrust zurück zu führen. Dass es sich dabei in erster Linie um eine Relaxation in Richtung der Tunnelachse handelt, zeigt sich deutlich anhand von bis zu 15m² grossen Platten, die sich aus der Ortsbrust lösten und hinter denen sich bis zu 10cm breite Spalten öffneten. Bei grossen Ausbrüchen konnten auch mehrere hintereinander liegende Zerrklüfte beobachtet werden. Die durchschnittliche Dicke der dabei abgelösten Platten betrug 50-100cm.



Figur 5. Ortsbrust im TBM-Vortrieb Raron bei Tunnelmeter 9997. In Schwarz eingetragen sind die schalenartigen Ausbrüche, in Grau die Trennflächen-gebundenen Ausbrüche. Der durchgehenden Meisselspuren liegen mehrheitlich im Bereich mit den schalenartigen Ausbrüchen.

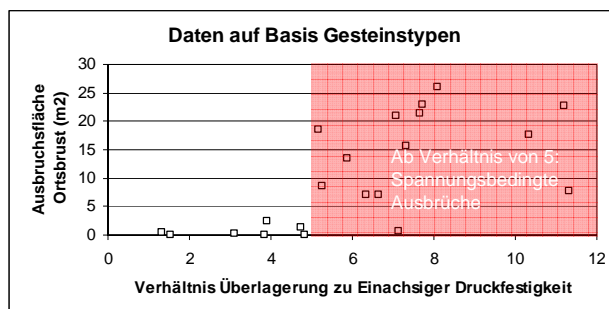


Figur 6. Längsprofil durch den TBM-Vortrieb Steg zusammen mit den bei Ortsbrustaufnahmen gemessenen Flächen der Ausbrüche.

Anhand von 564 Ortsbrustaufnahmen konnten die folgenden Korrelationen zwischen Ausbruchfläche Ortsbrust, Einachsiger Druckfestigkeit und Überlagerung hergestellt werden:

1. Mit zunehmender Korngrösse nimmt die Gesteinsfestigkeit ab.
2. Bei gleich bleibender Überlagerung nehmen die Instabilitäten mit zunehmender Gesteinsfestigkeit ab. Dies ist deutlich anhand der unterschiedlich intensiven Ausbrüche in den grob- bzw. feinkörnigen Schollengneisen zu erkennen.
3. Bei gleicher Gesteinsfestigkeit nehmen die Instabilitäten mit zunehmender Überlagerung zu. Diese Zunahme ist deutlich innerhalb des grobkörnigen Aaregranites zu erkennen und weniger deutlich ausgeprägt auch in den schiefrig-massigen Gneisen des Alt-kristallins.

Im folgenden Diagramm sind diese Abhängigkeiten, anhand des Verhältnisses von Überlagerung zu Druckfestigkeit gegenüber der Ausbruchfläche, deutlich zu erkennen. Es kann auf Grund dieser Daten gefolgert werden, dass für vergleichbare Vortriebe ab einem Verhältnis von Überlagerung zu Einachsiger Druckfestigkeit von fünf mit spannungsbedingten Instabilitäten in der Ortsbrust zu rechnen ist.



Figur 7: Mittelwerte der Gesteinstypen.

Die instabile Ortsbrust beeinflusste den TBM-Vortrieb wie folgt:

Im Falle der instabilen Ortsbrust wirkt die Tunnelbohrmaschine nicht als Fräse sondern als Brecher.

Dabei werden als erstes die abgerutschten Gesteinsplatten vom Bohrkopf zu Blöcken zerkleinert. Vor allem die vorstehenden Meissel und die Räumler kommen dabei in Kontakt zum ausgebrochenen Gestein.

Letzteres kann dann vom Bohrkopf aufgenommen und abtransportiert werden, wenn:

- a. die Blockgrösse geringer ist als die Distanz zwischen Tunnelbrust und Schneidrad oder wenn
- b. die Ausbrüche in den Räumerbereich hineinreichen und die Blöcke durch die Räumeroöffnungen vom Bohrkopf aufgenommen werden können.

Da die Ausbrüche oft im zentralen Bereich des Bohrkopfs lagen, kam es häufig zum Aufstau von zerbrochenem Material vor dem Bohrkopf.



Figur 8. Situation an der Ortsbrust im TBM-Vortrieb Steg am 27.09.01 bei nicht zurück gezogenem Bohrkopf (Tm3862.7)

Vergrösserte sich anschliessend der Ausbruch bis in den Räumerbereich hinein, so kam es zu einer stark erhöhten Materialaufnahme durch den Bohrkopf. In der Folge führte die diskontinuierliche Materialübergabe zwischen Räumerkänen und Transportbändern zu einem stark an- und abschwelenden Strom von Ausbruchsmaterial auf den Transportbändern.

Die schlagenden und abrupt wechselnden Beanspruchungen der Bohrwerkzeuge führten zu einem stark erhöhten Anteil an Gewaltschäden.

Vergleicht man die Meisselgewaltsschäden pro Rollmeter und Spur zwischen Abschnitten mit stabiler und instabiler Ortsbrust, so zeigt sich vor allem im Kaliberbereich eine starke Zunahme. Dieser Umstand ist wahrscheinlich darauf zurück zu führen, dass die Meissel auf diesen Positionen als Folge der kreisförmig angeordneten Ausbrüche in 1.5-4m Entfernung zur Ortsbrust immer auf dem Fels auflagen. Sie übernahmen daher auch die Vorschubkräfte von jenen Meisselpositionen, die auf die Ausbrüche zu liegen kamen (durchgehende Spuren in Figur 2). Bemerkte der TBM-Fahrer die Ausbrüche nicht rechtzeitig, so kam es zu einer Überlastung der Kalibermeissel.

Auf Grund dieser Beobachtungen wurden die folgenden Massnahmen getroffen:

- Reduktion der Vorschubkraft der TBM und der Drehzahl des Schneidrades
- Kontrolle der Meissel in kurzen zeitlichen Abständen. Meisselblockierer, die nicht rechtzeitig erkannt werden können, führen in diesen Gesteinen in kürzester Zeit zu einer Schädigung des Bohrkopfes.
- Einbau von Abweiskeilen vor den Meisseln
- Anschweissen von dickeren Verschleissplatten auf dem Bohrkopf.

Um einen kontinuierlicheren Materialstrom zu gewährleisten und um die maximale Korngrösse der Blöcke zu reduzieren, wurden in den Räumöffnungen zusätzlich Korngrössenbegrenzer eingebaut.

Trotz dieser Massnahmen konnte man anhand eines Versuches in Raron aufzeigen, dass nur gerade 50% des Ausbruchmaterials mit Kantenlängen <20cm gefördert wird. Die maximale Kantenlänge der meist stengelig oder plattig ausgebildeten Blöcke lag bei 70cm.

An den Transportanlagen traten deshalb trotz der Modifikationen die folgenden Probleme auf:

- Überfüllung der Übergaben
- Verkeilte Blöcke schlitzten Bänder auf
- Zerschlagung der Bänder und Bandrollen in Folge der hohen kinetischen Energie

Zur Behebung dieser Probleme wurden die folgenden Massnahmen getroffen:

1. Kurzfristig: Klammerung der Bänder um mit den länger dauernden Reparaturmassnahmen bis zur Serviceschicht zu warten zu können.
2. Umbau der Übergaben: Entfernung sämtlicher Engpässe
3. Einbau eines Stangensizers und eines nachfolgenden Brechers
4. Einbau eines Rollensiebes und Separierung der Blöcke ab einer bestimmten minimalen Korngrösse

Die meisten dieser Optimierungsmassnahmen brachten auch erhebliche Nachteile. Das Klammern der Bänder bedingte zum Beispiel das Zurückstellen der Abstreifer. Dadurch nahm der Reinigungsaufwand am betroffenen Band stark zu. Das Entfernen sämtlicher Engpässe führte an den Übergaben zum ungebremsten Aufprall der Blöcke auf das Folgeband. Ein Rollensieb funktioniert bei gleichbleibender Korngrössenverteilung sehr gut, neigt aber bei starken Wechseln zum Blockieren.

Gesamthaft nahm der Aufwand für Reinigung und Unterhalt der Transportanlagen in Folge dieser Probleme stark zu.

Meisselverschleiss

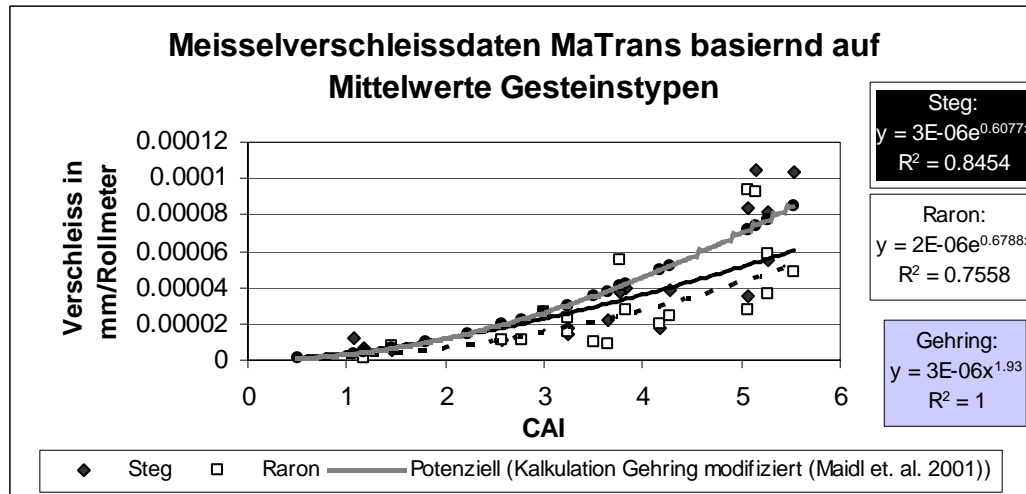
Neben den Blöcken aus der instabilen Ortsbrust führten die erhöhten Einachsigen Druckfestigkeiten und die erhöhten CAI-Werte zu einer starken Zunahme der Meisselwechsel. Gesamthaft wurden über 7500 Meissel gewechselt.

Die Häufigkeit der Meisselwechsel ist von mehreren Faktoren abhängig:

- Einachsige Druckfestigkeit: Wirkt sich aus auf die Penetration bzw. auf die Rollmeter je Vortriebsmeter aus
- CAI-Wert: Wirkt sich aus auf den Verschleiss/Rollmeter aus
- Konstruktive Aspekte des Bohrkopfes: Bei welcher Verschleisslimite muss ein Meissel gewechselt werden?
- Anteil Gewaltschäden wie Blockierer, Stützring- oder Ölverlust
- Verwendeter Meisseltyp: Durchmesser Schneidring, Schneidringbreite
- Häufigkeit des Einbaus von ausgebauten Kalibermeissel auf zentralen Positionen

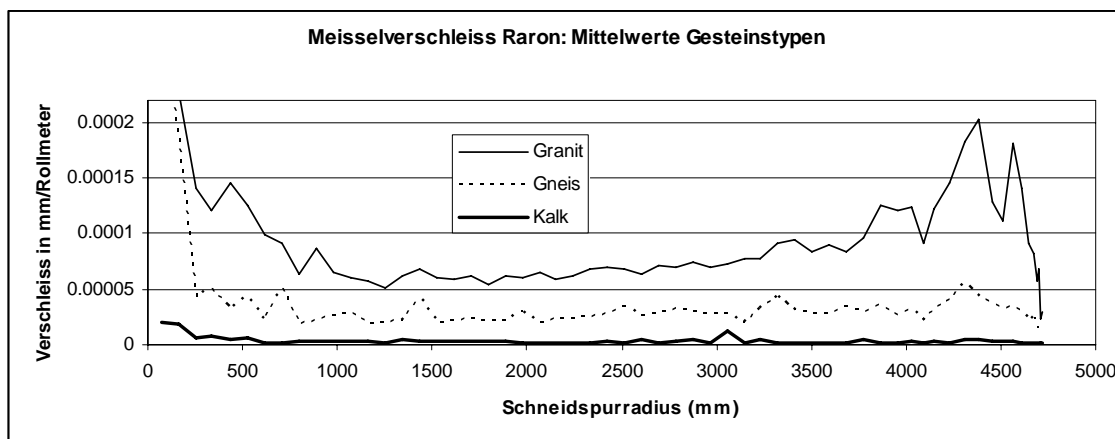
In Steg und Raron wurden die Meissel täglich kontrolliert. Dabei wurde der Verschleiss gemessen und je nach Ergebnis wurde der Meissel ausgewechselt.

Anhand dieser umfangreichen Datenbasis (in Summe 3'018'374'293 Rollmeter) lässt sich die bei Gehring (1995) angegebene Korrelation zwischen CAI-Wert und Verschleiss/Rollmeter überprüfen.



Figur 9: Gegenüberstellung Meisselverschleiss in Millimeter/Rollmeter zu CAI-Werten

Der reduzierte Meisselverschleiss bei höheren CAI-Werten bei MaTrans ist möglicherweise auf die umfangreichen Meisseltests und die Optimierungen zurück zu führen. Über den Bohrkopf gemittelt zeigt sich folgendes Bild:



Figur 10: Verteilung Meisselverschleiss über den Bohrkopf

Im Zentrum ist der Verschleiss/Rollmeter am höchsten, weil der Meissel auf Grund des engen Kreises den er in die Ortsbrust schneidet, nicht vollumfänglich abrollen kann. Dies fällt hinsichtlich des Meisselverschleisses aber nicht ins Gewicht, weil die Rollmeter, die die Meissel im Zentrum zurücklegen, sehr gering sind. Im Kaliberbereich zeigen sich zwischen wenig und hoch abrasiven Gesteinen grosse Unterschiede. Gerade auf den Kaliberpositionen auf denen die Meissel schon nach wenigen Millimetern Abrieb gewechselt werden müssen, entwickelt sich bei den hoch abrasiven Gesteinen eine extreme Spitze. Die Meissel in diesem Bereich bilden eine starke Pilzform aus und können daher auch nicht mehr auf andere Positionen eingetauscht werden.

Nach Gehring berechnet sich der Meisselverschleiss wie folgt:

$$\text{Wechsel/Tm} = k_1 \cdot \text{CAI}^{k_2} \cdot \text{Umdrehungen/Tm}$$

Durch die gemeinsame Zunahme von CAI-Wert und Einachsiger Druckfestigkeit nahmen die Meisselwechsel daher massiv zu und erreichten Spitzen von bis zu 4 Meisselwechsel pro Tunnelmeter.

Abrechnung Mehraufwand der ARGE

Sowohl der erhöhte CAI-Wert als auch die erhöhte Einachsige Druckfestigkeit und die Instabile Ortsbrust führten zu einem Mehraufwand der ARGE MaTrans, der nicht mit den vertraglich vereinbarten Einheitspreisen abgegolten werden konnte.

Unter Einschaltung der Schlichtungskommission gelang es den beiden Parteien den Mehraufwand über einen Nachtrag zu regeln.

Es stellt sich im Nachhinein aber die Frage, ob der Mehraufwand auch über eine andere Form der Ausschreibung schon direkt hätte entschädigt werden können.

Eine Möglichkeit hierzu besteht in der Ausschreibung von verschiedenen Bohrklassen.

Die Gotthard Alptransit AG z.B. hat einen Teil ihrer TBM-Vortriebe mit Bohrklassen ausgeschrieben.

Soweit aus Sicht der Löttschberg-Erfahrungen dieses Abrechnungssystem beurteilt werden kann, hätte man am Löttschberg Folgendes in Kauf nehmen müssen:

- Vorteil: Der Mehraufwand für die Verschiebung der Gesteinskennwerte zu härteren Verhältnissen hätte sich abrechnen lassen.
- Nachteil: Der Penetrationstest zur Festlegung der Bohrklasse bildet auf weite Strecken nicht die Realität ab. Der TBM-Fahrer musste auf Grund von Instabilen Ortsbrustverhältnissen die Vorschubkraft extrem reduzieren. Die gefahrene Penetration kann deshalb aus Gründen die der Unternehmer nicht zu vertreten hat, massiv unter jener liegen, die im Test bestimmt worden ist und die abgerechnet werden kann.

Der erhöhte Verschleiss könnte ebenso wie die Blöcke im Ausbruchmaterial mit einem Zuschlag abgerechnet werden. Am Gotthard werden zum Beispiel ab einem bestimmten Grenzwert Zuschläge für erhöhte CAI-Werte bezahlt.

Auf Grundlage der oben angegebenen Formel zur Berechnung des Meisselverschleisses stellt sich die Frage, wie erhöhter Verschleiss abgerechnet werden kann, wenn CAI-Wert und Einachsige Druckfestigkeit gemeinsam zunehmen. Der erhöhte CAI-Wert kann dabei nur einen Multiplikationsfaktor zur Bohrklasse und nicht einen Zuschlag darstellen und müsste daher für jede Bohrklasse gesondert angegeben werden. Gerade die Vortriebe von MaTrans am Löttschberg haben gezeigt, dass sich der Verschleiss nicht nur auf die Meisselkosten reduzieren lässt sondern mit der reduzierten Verfügbarkeit in Folge Vortriebsausfall durch Meisselwechsel oder Bohrkopfrevisionen auch zu massiv reduzierten Leistungen und erhöhten Kosten führt. Auch ein Zuschlag für blockiges Ausbruchmaterial ist nicht ohne Fragezeichen realisierbar, denn die Transportanlagen eines mechanisierten Vortriebs laufen dann am besten, wenn sie auf bestimmte Verhältnisse optimiert sind. Häufige und starke Wechsel der Verhältnisse wie Blockanteil, Verklebungen, an- und abschwellige Fördermenge etc. führen zu einer unterschiedlichen Reduktion der Verfügbarkeit. Diese Reduktion ist von einem Unternehmer daher nur sehr schwer und nur mit vielen Annahmen kalkulierbar.

Auch wenn mit der Ausschreibung einer Bohrklasse ohne Verschleiss- oder Blockigkeitszuschlag am Löttschberg der Mehraufwand der ARGE nicht direkt abgegolten werden konnte, erlaubt dieses System sich sehr schnell und mit einem geringen Abstimmungsbedarf zwischen den Parteien an die neuen Umstände anzupassen und technische Lösungen zu suchen.