

„DS-TBM over its Limits“ / Schwierigkeiten mit Zuckerkörnigem Dolomit beim Bau des Shanggongshantunnels in Südwestchina

Dieter Fellner¹⁾, Martin Bachmann²⁾, Wolfgang Bönsch²⁾

¹⁾ Poyry Energy, ²⁾ Poyry Infra AG, Zurich

1. Einleitung

1.1 Generelle Anmerkungen zum Projekt KWSP

Kunming ist das politische und wirtschaftliche Zentrum der Yunnan Provinz in SW-China. Sie ist auch eine von 14 Grossstädten in China, die an Wasserverknappung leiden. Um das Problem der ungenügenden Wasserversorgung zu lösen, wurde das „Kunming Zhangjiuhe River Water Diversion und Water supply project (KWSP) mit geplanten Gesamtkosten von 476 Millionen USD Mitte 2002 in Angriff genommen. Es umfasst unter anderem einen Staudamm, ein Krafthaus, 97 km Wasserleitungsstollen und 93 km Wasserverteilungsnetzwerk. Der 13.7 km lange Shanggongshantunnel (Gegenstand des vorliegenden Beitrages) stellt einen zentralen und - wie sich herausstellen sollte – bautechnisch besonders schwierigen Abschnitt dar. Der Bau desselben war Teil eines 35 Millionen Auftrages, der an CMC (Cooperativa Muratori & Cementisti) vergeben wurde. Electrowatt Infra (jetztige Poyry Infra AG) wurde – zusammen mit einem lokalen Subconsultant - mit Bauleitungs-, Design-Review- und Claimmanagementaufgaben betraut.

1.2 Shanggongshantunnel

Der Tunnel mit einer Länge von 13.7 km verläuft auf ca. 2000 m ü.M. und ist nach dem gleichna-

migen Bergzug (Shanggongshan Mountains) benannt und sollte zum Grossteil mittels einer Robbins Doppelschild TBM DS120 (1217-303) mit Bohrdurchmesser von 3.655 m aufgeföhren werden. Zur Verkürzung der Bauzeit, sollte ein Teil des Tunnels vom unterwasserseitigen Portal (Outlet) her, konventionell vorgetrieben werden. Nachdem die Leistung der TBM eine termingerechte Fertigstellung gefährdete wurde beschlossen, vom unterwasserseitigen Portal (Outlet) und einem Zwischenangriff (Adit 1) aus gesamthaft 2694m konventionell im Gegenvortrieb aufzuföhren.

Der kleine Bohrdurchmesser bedingte sehr beengte Arbeitsverhältnisse und schlechte Angriffsmöglichkeiten innerhalb des gesamten Maschinenbereiches für eventuelle Zusatzmassnahmen. Der Wasserleitungsstollen ist im TBM Vortriebsbereich mit vorgefertigten Tübbings ausgekleidet. Ein Ring besteht aus 5 Elementen inklusive Schlussstein. Je nach Geologie waren zwei Tübbingvarianten vorgesehen, die sich durch ihren Armierungsgehalt (125 bzw. 154 kg / m³) unterschieden.

Der Tunnel besitzt eine geringe Neigung 0.6 Promille. Der Spalt zwischen Tübbing und Gebirge wurde mit Kies (pea gravel) verblasen und planmässig mit Zement-Mörtel nachinjiziert.

Am 30.04.2003 erfolgte der Start des TBM Vortriebes. Als Meilenstein für Beendigung der Vortriebsarbeiten war der 30. 09. 2006 geplant.

Sonderdruck

Fellner D., Bachmann M. & Bönsch W. (2007): "DS-TBM over its Limits / Schwierigkeiten mit Zuckerkörnigem Dolomit beim Bau des Shanggongshantunnels in Südwestchina"; Brenner Basistunnel und Zulaufstrecken; Internationales Symposium BBT 2007, Innsbruck; 159-166; Innsbruck University Press.

2. Geologischer Ueberblick

Der geologische Aufbau im Bereich des Shang-gongshan Tunnels ist durch zwei dominierende geologisch-lithologische Einheiten gekennzeichnet: einerseits durch Schiefer im Liegenden und andererseits durch Karbonate im Hangenden (siehe Bild 1). Die Schiefer wurden auf den ersten 7 km durchfahren. Abgesehen von lokalen Erscheinungen von leicht druckhaftem Gebirgsverhalten, einer im Vergleich zur geologischen Prognose wesentlich grösseren Anzahl von kleineren Störzonen und einer generellen Verschiebung hin zu schlechteren Ausbruchklassen III und IV – angewandt wurden chinesische Gebirgsklassifikationen – verlief der Vortrieb einigermaßen den Erwartungen entsprechend. Die gewählte Robbins DS Maschine erwies sich rückblickend als geeignete Maschine und durchfuhr diese Strecke ohne längere

Unterbrechungen.

In der geologischen Prognose wurde dem Uebergang liegende Schiefer und Hangende Dolomite ein hoher Stellenwert eingeräumt. Dies spiegelt sich in der Prognose der Ausbruchklassenverteilungen in diesem Bereich wider, wo im Uebergangsbereich die ungünstigsten Ausbruchklassen IV und V dominierten. In der Realität erwies sich dieser Uebergang als bautechnisch wenig anspruchsvoll, sodass der Unternehmer Ende 2004 – nach Antreffen erster kompetenter Dolomitlagen – mit optimistischen Erwartungen in die als bautechnisch günstigen Dolomite weiter vorzutreiben gedachte. Diese Meinung wurde zusätzlich durch die geoelektrische Messungen und Profile des Yunnan Aerospace Nondamage Testing Institutes gestützt, die keine Hinweise auf stark durchlässige tiefreichende Zonen beinhaltete (siehe Bild 2).

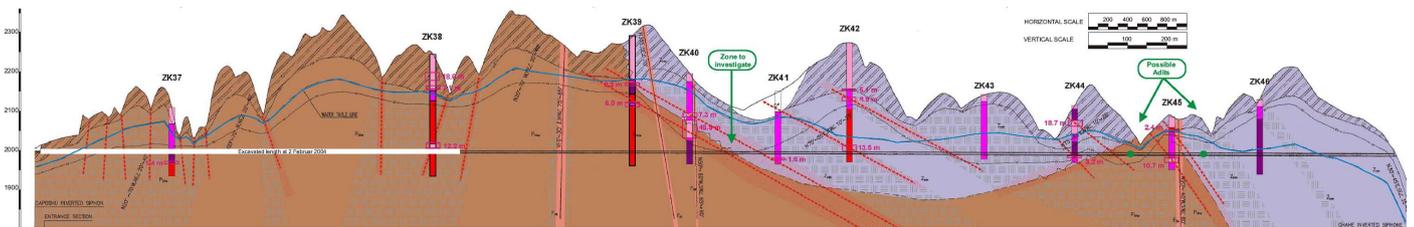


Bild 1: Geologisches Längsprofil Shanggongshantunnel

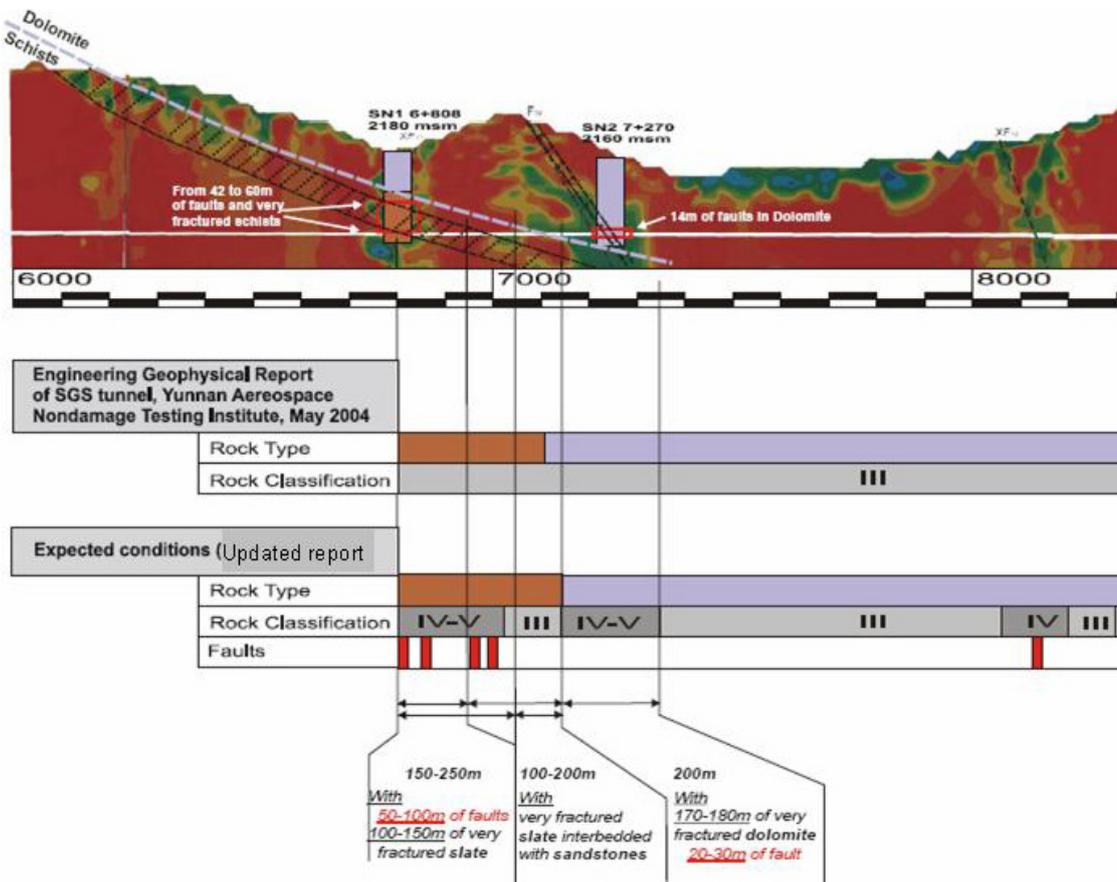


Bild 2: Erwartungen beim Eindringen in hangende Dolomite

Die geoelektrischen Profile und Prognosen erwiesen sich rückblickend als falsch was die Durchlässigkeiten auf Tunnelniveau ca. 100 m unter Talsohle betraf. Statt besserer geologischer Verhältnisse wurden extrem schwierige geologische Bedingungen angetroffen, die letztendlich den geplanten Einsatzbereich der Robbins TBM deutlich überschritten.

3. Chronologie (Auszug)

Nach einer Phase mit stark variablen Vortriebsleistungen zwischen Tm 6820 und 7300, aber immerhin Spitzenleistungen bis 30 m pro Tag zwischen erfolgten am 28.11.2004 bei Tm **7302** & 7305 zwei Verbrüche der TBM Ortsbrust, welche die TBM im Bereich des Front- und Teleskopschildes mit Sand und Kies füllten und die TBM blockierten. Der maximale Wasserzutritt lag bei ca. 40 l/s. Der dadurch nötige **Bypass 1 und Arbeiten zum Freilegen der TBM beanspruchten 63 Tage**. Die Vortriebsarbeiten für den Bypass erwiesen sich als schwierig. Es ereigneten sich mindestens 3 teilweise Verbrüche beim Vortrieb desselben, die diesen mit murgangähnlichen Einschwemmungen teilweise wieder auffüllten. Im vordersten Bereich (vor dem Bohrkopf) wurde der Bypass zu einer Kammer erweitert, in welcher der obere Teil des Bohrkopfes von vorne freigelegt wurde. Der Vortrieb war, ebenso wie die folgenden Bypässe, durch den intensiven Einsatz von Drainage und Injektionslanzen gekennzeichnet. Zum Einsatz kam lokales PU Schaummittel. Zur Sicherung des hufeisenförmigen Bypasses kamen Stahlbögen mit Holzlagging und angeschweisste Stahlbleche zum Einsatz.

Nachdem der Bohrkopf der TBM freigelegt war, wurde am 1. Februar 2005 der Vortrieb erneut aufgenommen. Die TBM durchfuhr extrem zerbrochenen Dolomit, teilweise verlehmt, teilweise als Brekzie vorliegend. Der Vortrieb war durch systematische 20 m langen Injektionen begleitet. Nach 33 m Vortrieb bzw. 6 Tagen kam es zum erneuten partiellen Kollaps der Ortsbrust, verbunden mit eindringendem Kies-Sand in den Bohrkopf sowie Einschwemmungen in den Teleskopschildbereich. Der Bohrkopf sass erneut fest. **Ausbrüche des Bypasses 2 (links) und Bypasses 3 rechts waren begleitet von mehreren murgangartigen Einbrüchen / Schwemmungen, die teilweise Materialeintrag in den TBM Nachläuferbereich bedingten** und mühsam manuell entfernt werden mussten. Der linke Bypass war als Gross-Drainage, der rechte Bypass als Pilotstollen gedacht. Die Sicherungsmittel umfassten abermals Injektionen sowie Stahlbögen mit angeschweissten Stahlblechen.

Am 7.3.2005 wurde der TBM Vortrieb erneut aufgenommen und bis Tm 7466 (also 128 m) vorgetrieben. Gemäss Aussage des Unternehmers hatte

das Ausbruchmaterial während dieser Fahrt teilweise Eigenschaften ähnlich einer „Sand-Schlamm-Suppe“. Der erneute Kollaps der Ortsbrust war keine Ueberraschung und durch mehrere kleinere Einschwemmungen angekündigt. Auffällig war, dass beim letzten Hub - vor dem erneuten Einbruch - mehr Material geschüttet wurde, als vorgetrieben wurde. Die Wasserzutritte im Vortriebsbereich betrug ca. 15 l/s. Das Material drang abermals massiv in den Bohrkopf, und den Teleskopschild ein und blockierte den Bohrkopf. **Diesmal wurde mit Bypass 4 auf der rechten Maschinenseite begonnen, gefolgt von Bypass 5 (Bild 4) auf der linken Seite. Kontinuierliche „cave ins“ / Einschwemmungen im Ortsbrustbereich der Bypässe zeigten, dass sich das Gebirge im Grenzgleichgewicht befand.** Die ständigen kleineren Einbrüche kulminierten in einem massiven murgangartigen Einbruch am 17. April 2005 (Bild 3), der den gesamten linken Bypass auf dessen gesamter Länge auffüllte und erneut massive Einschwemmungen bis in den TBM Nachläuferbereich bewirkte.

Abermals wurde der Bohrkopf der TBM im oberen Teil via Bypass in einer Kammer freigelegt (Bild 5) und das Gebirge vor und um den Bohrkopf herum durch Injektionen verfestigt bzw. abgedichtet.



Bild 3: Grösstenteils verfüllter Bypass 4



Bild 4: Verhältnisse im Bypass 5

Der Vortrieb wurde im Juni 2005 auf ca. 100 m Länge fortgesetzt bis bei Tm 7568 abermals starker Wasserandrang festgestellt wurde und es wie bei den vorangegangenen Orten zum erneuten Einbruch von Material in die TBM kam. Zu diesem Zeitpunkt befand sich die TBM ca. 100 m unterhalb eines querschlägig zur Tunnelachse verlaufenden Tales (Tanglangquinvalley, Bild 2).

Aufgrund der geringen Vortriebsleistungen und der Prognose von weiteren Problemzonen (Bild 9), wurde beschlossen die TBM zu demontieren und den verbleibenden Abschnitt mittels Drill&Blast unter dem Schutz von konischen Injektionsschirmen aufzufahren. Neben dem bereits in Vortrieb befindlichen Gegenvortrieb vom Outlet und Adit 1 her, wurde die verbleibende Strecke durch 3 weitere Zwischenangriffe (Adit 2, 3 und 4) weiter unterteilt um Verzögerungen in der Gesamtbauzeit im Rahmen zu halten. Während die Vortriebe im Bereich Outlet, Adit 1, Adit 2, die ebenfalls in kompetenten Karbonaten derselben Formation vergleichsweise zügig voranschritten, erwiesen sich die Vortriebsarbeiten innerhalb bzw. im Nahbereich des erwähnten Tales, wie erwartet als

schwierig. Dies betraf sowohl die Vortriebe auf Tunnelniveau als auch Vortriebe in teilweise steil geneigten Zwischenangriffen. Hervorzuheben ist diesbezüglich vor allem der im Tanglangquinvalley direkt vorgetriebene Adit 4 (ca. 40 ° Neigung), 310m Länge in dem es zu Serien von Verbrüchen mit Sandkieseinschwemmungen kam. Gesamthaft wurden mehr als 4000 m³ Sand-Kieseinbruchmaterial entfernt.

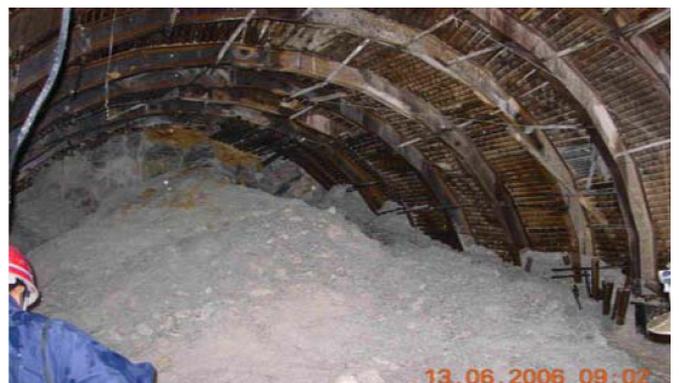
Nach der Demontage der TBM und mehreren Injektionskegeln (Injektionen wurden von SinoHydro durchgeführt), wurde am **10. Mai 2006 nach einem 10-monatigen Unterbruch auch der Vortrieb im ehemaligen TBM Vortriebsbereich (Inlet) wieder aufgenommen**. Sobald der Vortrieb jedoch ausserhalb des Injektionskegels geriet (**Tm 7600, Juni 2006, Bild 6**), ereigneten sich erneut Verbrüche. **Diese produzierten einen Hohlraum von ca. 25 m Höhe über einer Länge von 15 m (teilweise über bereits ausgebrochener Strecke). Mehr als 2500 m³ fließender Sand und Kies wurde aus diesem Bereich gefördert.**



Bild 5: Freigelegter Bohrkopf Tm 7466



Bild 6: Verbruch (Kollaps) Tm 7600



In der Folge wurde beschlossen die Ortsbrust durch eine Betonwand zu verschliessen und durch Injektionen vorzuverfestigen. Zur selben Zeit ereigneten sich am Fuss des Zwischenangriffs 4 (Bild 7) ebenfalls, die zuvor erwähnten ausgedehnten Verbrüche.

Parallel wurde mit systematischen Injektionen von der Oberfläche her versucht, die Verhältnisse vor Durchfahren der schwierigen Strecken durch Verfestigung zu verbessern, was auch gelang. Im Oktober / November 2006 erfolgten die diversen Durchschläge Adit 4 / Adit 3 / Inlet (ehemaliger TBM Vortrieb).



Bild 7: Verbruch bei der Einmündung Adit 4 in den Haupttunnel

4. Geologische Erklärung der Phänomene / Geologie im Bereich des Tanglangquivalleys

Die geologische Erklärung für die oben beschriebenen massiven Probleme ist das Auftreten von stark zerbrochenem / teilweise zuckerkörnigen Dolomit in Kombination mit Wasser. Lagiges Auftreten von undurchlässigerem Material innerhalb der an sich steil stehenden Abfolge bewirkte, dass sich der Wasserdruck hinter der Ortsbrust bis knapp vor dem „Eintauchen der TBM“ in die wasserführende Zone aufrecht erhalten hat und zur Verflüssigung des sandig-kiesigen Ausgangsmaterials führte. Aufschlüsse entlang der Zufahrtsstrasse zum Tal ergaben, dass Bündel von talparallelen Störzonen die Dolomite durchziehen und die auch sonst tektonisch stark durchbewegten Gesteine lokal zu sandig-porösem Störzonenmaterial umwandelten. Ein Steinbruch am Ende des Tales ca. 700 m von der Tunnelachse entfernt (Bild 8), zeigte eindrücklich, dass hier der zuckerkörnige Dolomit auf eine Breite von ca. 50 m ausschliesslich zuckerkörnig vorliegt. Er wird von der örtlichen Bevölkerung zur Sandgewinnung mit Schaufel abgekratzt bzw. gebrochen. Die beim TBM Vortrieb angetroffenen Störzonen lassen sich teilweise mit einzelnen der an der Ober-

fläche aufgeschlossenen Störzonen korrelieren. Störzonenmaterial wurde auch in zusätzlich abgeteufte Bohrungen angetroffen (Bild 9).



Bild 8: Sandgewinnungssteinbruch mit zuckerkörnigem Dolomit



Bild 9: Störzonenmaterial Bohrung Tm 7670

5. Lessons to be learnt / Vergleiche

Im Fall des Shanggongshantunnels wurde die Machbarkeit eines TBM Vortriebes einer Doppelschild TBM eindeutig überschritten. Modifikationen an der TBM wie - Verkleinerung der Oeffnungen im Bohrkopf und Schliessen der Oeffnungen im Tail- und Teleskopschild - wurden erst spät durchgeführt und bewältigten den plötzlichen Materialzufluss durch den Bohrkopf letztendlich nicht. Weitere Anstrengungen den Materialzufluss in den Griff zu bekommen, schlugen fehl. Für den Vortrieb durch wassergesättigtes lockergesteinsähnliches Material hätte es eine TBM mit EPB-Features gebraucht. Eine von uns durchgeführte Analyse der Gefährdungsbilder (Bild 10) zeigte, wo die Schwachstellen der TBM liegen.

- [2] Diethem W., Amberg F., Fellner D.: Die Wahrheit im Bereich der Piora Mulde, in: „Der längste Tunnel der Welt“, Werdverlag 2002.
- [3] BBT EWIV: Aktualisierung der Machbarkeitsstudie Brenner Basistunnel, Innsbruck, 2003.
- [4] Fellner, D., Spiegl, M., Schneider, E., Grandori, R., Leitner, W.: Brenner Basistunnel – Geotechnische Prognose und Konzept für den TBM-Einsatz, Felsbau 4 / 2003.