
Spritzbeton als Endauskleidung für die Kraftwerksstollen KW Klösterle - eine Entscheidung mit Herz und Verstand

SHOTCRETE AS FINAL LINING FOR THE LEAD RACE CHANNELS OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT KLÖSTERLE - A DECISION WITH HEART AND INTELLECT

LUIS VIGL, LEO WAGNER

Für die beiden Triebwasserstollen des Kraftwerkes Klösterle (ca. 5000 m, Fräsdurchmesser $\varnothing_A = 3,50$ m) war die Wahl zwischen zwei Endauskleidungsvarianten - Ortbetonschale oder Spritzbetonendauskleidung - zu treffen.

Das Erfordernis an die Auskleidung bestand im wesentlichen aus:

- Versiegelung des Stollens und Erhalt der Primärsicherung
- lokale Verstärkung der Vorauskleidung und o
- bereichsweise Herstellen eines Widerlagers für Injektionen

In die Bewertung miteinbezogen wurden:

- die Herstellungskosten der Auskleidung
- die erforderlichen Vorarbeiten
- die Baudauer
- der Barwert der Reibungsverluste sowie die Qualität im Hinblick auf die Betriebssicherheit

Die kostenrelevanten Parameter sprachen für die Spritzbetonlösung. Bei den subjektiven Parametern setzte der Auftraggeber beherzt auf die mögliche Qualität einer soliden Handarbeit und wurde bestätigt. Zum Einsatz kam Spritzbeton mit alkalifreiem Beschleuniger unter Rücksichtnahme auf Arbeitsbedingungen und Umwelteinflüsse. Die erzielten Leistungen konnten sich mit einem Durchschnitt von 37 - 46 m/AT und Spitzen bis 77 m/AT sehen lassen und bei der Füllprobe erwies sich die Auskleidung im Rahmen der Erfordernisse als technisch dicht.

For the two lead race channels of the Klösterle hydroelectric power plant (total length 5000 m, $\varnothing_{exc} = 3,50$ m) a decision between two variants for the final lining - cast in situ or shotcrete - had to be made.

The main requirements for the final lining were: · sealing of the tunnel and conservation of the primary support · local improvement of the primary support and · providing the necessary support for grouting measures.

The main deciding factors were:

- construction costs
- construction time
- barvalue of the costs due to friction losses and
- quality in view to operation and maintenance.

From the costs a decision for a final shotcrete lining was desired. In view to the quality the client trusted in the art of skilled manual work. This finally was confirmed by the results.

Mean daily advance in lining construction was achieved between 37 - 46 m. The maximum advance was 77 m/day. When the tunnel finally was filled with water it behaved water tight due to the specific requirements.

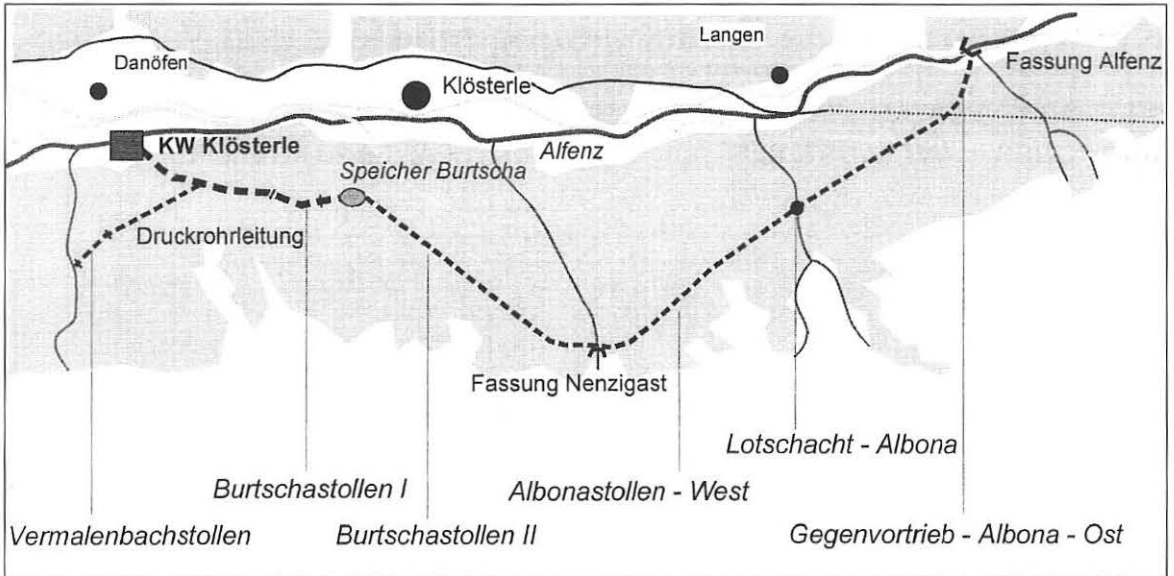


Bild 1: Die Stollen des Kraftwerkes Klösterle

1. Das Projekt

Das "Kraftwerk Klösterle" der VKW - Vorarlberger Kraftwerke AG - liegt im Gemeindegebiet von Klösterle in Vorarlberg und nutzt mit einem Gesamteinzugsgebiet von ca. 53 km² einen Teil des Wasserkraftpotentials der Alfenz sowie ihrer linksufrigen Zubringer Alborabach, Nenzigastbach und Vermalenbach (1).

Die Alfenz wird unterhalb Stuben gefaßt und über eine erdverlegte Rohrleitung dem 3,4 km langen Albonastollen zugeführt. Etwa auf halber Länge wird über den ca. 65 m hohen Lotschacht Albona der Albonabach und am Stollende, im Nenzigastal, der Nenzigastbach beigeleitet. Von dort führt

der 1,7 km lange Burtschastollen II zum Ausgleichsspeicher Burtscha (Fassungsvermögen ca. 8.000 m³).

Hier beginnt der 1,7 km lange Kraftabstieg zum ca. 330 m tiefer gelegenen Kraftwerk Klösterle in Form einer zuerst in einem Rohrstollen - dem Burtschastollen I - geführten und dann erdverlegten Druckrohrleitung aus Sphärogußrohren (DN 1600, DN 1400 mm). Entlang des Kraftabstieges wird noch der Vermalenbach über eine zuerst stollen-, dann erdverlegte Druckrohrleitung beigeleitet.

Das Krafthaus des Kraftwerkes Klösterle ist mit 2 Francisturbinen ausgestattet, die bei einer maximalen Fallhöhe von 323,5 m und einer Ausbau-

Name	Øi	Länge	Zweck	Vortrieb	Endauskleidung
Burtschastollen I	3,20 m	270 m	Rohrstollen für Druckrohrleitung Ø 1,60 m	konventioneller Sprengvortrieb	Spritzbeton
Burtschastollen II	3,30 m	1700 m	Beileitungs-, Druck-/ Freispiegelstollen	offene TBM Robbins, Ø 3,50 m	Spritzbeton
Albonastollen West	3,30 m	2700 m	Beileitungs-, Druck-/ Freispiegelstollen	offene TBM Robbins, Ø 3,50 m	Spritzbeton
Lotschacht Albona	1,80/0,60 m	35 + 35 m	Beileitung	Alimak/ Brunnentechnik	Spritzbeton/ Betonrohr
Gegenvortrieb Albona Ost	3,35 m	700 m	Beileitungs-Freispiegelstollen	konventioneller Sprengvortrieb	Spritzbeton
Vermalenbachstollen	3,20 m	360 m	Rohrstollen für Beileitung	konventioneller Sprengvortrieb	Spritzbeton

Tabelle 1: Stollen und Schächte des Kraftwerkes Klösterle

wassermenge von zusammen 6 m³/s eine Engpaßleistung von 16 MW erreichen. Das Regeljahresarbeitsvermögen beträgt 55 Mio kWh. Das abgearbeitete Triebwasser wird über ein Unterwasser-Ausgleichsbecken in die Alfenz zurückgeleitet.

Das Kraftwerk Klösterle wurde in 3 Jahren gebaut und Mitte 1997 in Betrieb genommen. Die Gesamtbaukosten beliefen sich auf etwa 625 Millionen Schilling.

2. Die Stollenbauwerke des Kraftwerkes Klösterle

Für das Kraftwerk Klösterle wurden Stollen mit einer Länge von insgesamt 5800 m vorgetrieben (Tabelle 1 und Bild 1). Mit der technischen Konzeption, der geologischen Betreuung und der Bauleitung wurden die VORARLBERGER ILLWERKE betraut [2]. Die Bauausführung oblag der ARGE Stollen Klösterle (ASK), bestehend aus den Firmen JÄGER (GF) - ILBAU - STUAG.

Die Stollenbauarbeiten wurden im wesentlichen 1995/96 ausgeführt, wobei im Vortrieb folgende Leistungen (Tabelle 2) erzielt wurden:

Konventioneller Ausbruch + Sicherung:		
Burtscha I, Albona Ost, Vermalenbach lotschacht Albona	i.M. 4,0 m/AT	3x8 Std.
· Alimakausbruch	i.M. 3,0 m/AT	2x10 Std.
· Abteufen Brunnen- technik	i.M. 0,5 m/AT	1x10 Std.
TBM Vortrieb + Sicherung:		
Burtschastollen II	i.M. 33 m/AT	2x10 Std.
Albonastollen West bis Stat. 1800m	i.M. 40 m/AT	2x10 Std.
Albonastollen West, Bergzerreißungszone ab Station 1800m	i.M. 10 m/AT	2x10 Std.

Tabelle 2: Vortriebsdaten

3. Geologie und Gebirgsverhältnisse

Das Ost-West-gerichtete Klostertal folgt im Projektgebiet einer markanten Gesteinsgrenze zwischen den nicht metamorphen Schichtfolgen der Nördlichen Kalkalpen im Norden und den metamorphen Gesteinsserien der Silvrettadecke bzw. der sie unterlagernden Phyllitgneisdecke im Süden. Entlang dieser Gesteinsgrenze verläuft die Klostertalstörung. Die gesamten Stollenbauten des Projektes liegen südlich dieser Störzonen im Bereich der metamorphen Gesteinsserien.

Die Südhänge des Klostertales östlich von Dalaas wurden nacheiszeitlich stark aufgelockert. Diese

Hangauflockerungen führten zu Ausgleichsbewegungen an den Talflanken. Die Bergzerreißungen, Sackungen und Gleitungen sind heute weitgehend stabilisiert, führen aber zum Teil noch Kriechbewegungen aus.

Die Hauptgesteine der Phyllitgneisdecke sind Phyllitgneise und Glimmerschiefer. Untergeordnet kommen im Bereich der Stollen auch Amphibolite und Muskovitgranitgneise vor. Die Schieferung und die Haupttrennflächen streichen etwa parallel zum Talverlauf in Ost-West-Richtung, und somit spitzwinklig zu den Hauptstollen, und fallen im allgemeinen steil nach Süden ein.

Im Berginneren wurde über weite Strecken kompaktes, nur von einzelnen mylonitischen Störungen durchzogenes Gebirge aufgeföhren. Deshalb eilte der TBM-Vortrieb, der von West nach Ost erfolgte, trotz der eher ungünstigen Stellung des Gefüges zum Stollen, anfangs den Erwartungen voran. Auf den ersten 3,5 km, im Burtschastollen II und im Albonastollen West, das sind 70 % der Gesamtstrecke, wurden ausgezeichnete Vortriebsbedingungen vorgefunden, welche die prognostizierte Güte bereichsweise sogar übertrafen. Über weite Strecken dominierte standfestes bis nachbrüchiges Gebirgsverhalten, die mylonitischen Störungen waren durch gebräches bis stark gebräches Gebirge gekennzeichnet.

Mit dem östlichen Teil des Albonastollens mußte eine Bergzerreißungszone durchquert werden, die wesentlich tiefer als prognostiziert in das Berginnere reichte. In der Bergzerreißungszone, die durch stark gelockertes, gebräches bis stark gebräches Gebirge und starken Bergwasserandrang gekennzeichnet war, verlangsamte sich der maschinelle Vortrieb zusehends und kam früher als erwartet zum Stillstand. Trotz einer Verschwenkung der Stollen-trasse gelang es nicht mehr, die Auflockerungszone zu verlassen. Deshalb wurde der konventionelle Gegenvortrieb vom Ostportal des Albonastollens bis 700 m verlängert und am Durchschlagspunkt die TBM geborgen.

4. Konzept der Vorauskleidung

Abgesehen von vereinzelt Mylonitzonen war der angetroffene Gesteinsverband erosionsstabil. Bei den überwiegend aufgeföhrenen Phyllitgneisen war ein zeitunabhängiges Festigkeitsverhalten zu erwarten. Es war also bereits mit der Sicherung bzw. Vorauskleidung das erforderliche Ausmaß der permanent erforderlichen Stützung zu erreichen.

4.1 Konventionell aufgefahrene Strecken

In den konventionell ausgebrochenen Stollenstrecken wurde überwiegend nachbrüchiges bis stark gebüchtes Gebirge aufgefahren. Es war ein dementsprechend systematischer Stahlbogenausbau mit Gitter und Spritzbeton und über große Strecken das Vortreiben von Spießern im Firstbereich erforderlich. Zur Ausführung gelangten Spritzbetonstärken von vorwiegend 10 cm und 15 cm, in Ausnahmefällen 20 cm. Lediglich vergleichsweise kurze Abschnitte verlangten eine nur geringfügige bzw. überhaupt keine Stützung.

4.2 Maschinell aufgefahrene Strecken

Für die Vortriebssicherung wurde, einem bewährten Prinzip folgend, das Ausmaß der Stützung entsprechend den Erfordernissen vor Ort einvernehmlich festgelegt und mit den maschinenangepaßten, wirtschaftlich verfügbaren Stützmitteln abgedeckt. Zum Einsatz kamen: leichter bis schwerer Stahlausbau, bewehrter Spritzbeton, vereinzelt auch Anker. Der Sicherungsspritzbeton wurde im gefrästen Abschnitt nach Erfordernis in den Stärken 7,5 cm und 10 cm eingebaut. Mit diesen Stützmitteln wurde einzeln und in Kombination durchwegs das Auslangen gefunden.

5. Konzept der Endauskleidung

5.1 Mögliche Varianten

Die Ausschreibung sah für die Rohrstollen und den Lotschacht Albona (zusammen 800 m) eine Spritzbeton-Endauskleidung vor.

Für die Druck- bzw. Freispiegelstollen (5000 m) war eine Mischvariante, 70 % Ortbeton und 30 % Spritzbeton jeweils mit Sohlübbling, ausgeschrieben, wobei die Alternativen "100 % Ortbeton" bzw. "100 % Spritzbeton" offen waren.

Grund für die Varianten der Ausschreibung war, daß vor Baubeginn eine Reihe kostenrelevanter Entscheidungsparameter wie Injektionserfordernis, Ausmaß der Wasserableitungen bzw. Flächenabdichtung, Anzahl der Schalungsdurchmesser und erforderliche Umstellungen etc. nicht mit ausreichender Sicherheit zur Verfügung stand.

Die letztgültige Entscheidung für die Wahl der Endauskleidung wurde daher erst vorgenommen, als bereits ca. 80 % der Stollen aufgefahren und gesichert waren.

5.2 Auskleidungserfordernis und Auskleidungsstärken

Als Entscheidungsgrundlage für die Wahl der Endauskleidung wurden folgende Erfordernisse formuliert:

- durchgehende Konservierung und Erhalt der Primärsicherung
- Versiegelung der Gesamtstrecke gegen Erosion, Verwitterung und unkontrollierten Wasserdurchtritt
- lokale Verstärkung bzw. Ersatz der Primärsicherung
- "Widerlager" für Injektion insoweit, als zum Verpressen von Wassereinleitungen erforderlich.

Das Erfordernis der Dichtheit des Freispiegel- bzw. Druckstollens mit bereichsweise geringen Überdrücken war im Hinblick auf Wasserverluste, aus hydrogeologischer Sicht zur Vermeidung von Erosionen im Gebirge und zur Vermeidung der Bewässerung hangnaher Zonen gegeben. Für die Freispiegelstrecke im hangnahen Bereich des Gegenortbetriebes Albona-Ost, wo in der Firste keine Dichtheiterfordernis bestand und Bergwasserzutritte zugelassen werden konnten, bedeutete das, daß Dichtheit nur unterhalb der Wasserlinie sicherzustellen war.

Für die Spritzbetonvariante ergaben sich daraus zwei Auskleidungstypen:

- TYP I - 7,5 cm, unbewehrt, mit der Zielsetzung: Versiegelung, Konservierung, Dichtheit
- TYP II - 10 cm, bewehrt, mit der Zielsetzung: Verstärkung der Primärsicherung, erhöhter Anspruch in Portalstrecken.

Für eine Ortbetonauskleidung ergaben sich, in Abhängigkeit von der Vorauskleidung, zwei Schalungsdurchmesser bei einer herstellungsbedingten Mindestbetonstärke von 15 cm.

5.3 Entscheidungsrelevante Parameter der Endauskleidungsvarianten

- Herstellungskosten nach Einheitspreisen und Einrichtungskosten
- Nachdem 80 % der Stollen aufgefahren waren, war eine Bewertung der Herstellungskosten nach Einheitspreisen mit großer Sicherheit möglich. Dabei ergab sich für die durchgehende Spritzbetonvariante ein Kostenvorteil von 15 % gegenüber der Ortbetonvariante bzw. einer Mischvariante.

Hier waren besonders die erhöhten Einrichtungskosten für die Ortbetonauskleidung (Schalung) ausschlaggebend.

- Wassereinleitung/Vorabdichtung
Aufgrund der umfangreichen und teils flächigen Wasserzutritte waren die vorweg auszuführenden Abdichtungs- bzw. Ableitungsmaßnahmen zu bewerten. Während bei der Ortbetonauskleidung das flächenhafte Fassen von Wasserzutritten mittels Folie rationell möglich ist, müssen die Wasserzutritte vor Aufbringen des Spritzbetons relativ aufwendig gefaßt werden. Dem stand gegenüber, daß die Wassereinleitung in den Stollen im Fall der Ortbetonauskleidung durch den Sohlübbling erfolgen mußte, während diese im Fall der Spritzbetonauskleidung weniger aufwendig erfolgen konnte. Die Kostenabschätzung brachte hier aufgrund der Kostenrelevanz der Flächenabdichtung einen Vorteil für die Ortbetonauskleidung.
- Baudauer - zeitgebundene Kosten
Bei einer angenommenen Betonierleistung von 55 m/AT und einer angenommenen Spritzbetonleistung von 40 m/AT ergab sich hier ein Kostenvorteil für die Ortbetonauskleidung.
- Erfordernis Injektion
Aufgrund der vom Umfang her geringen und anspruchslosen Injektionserfordernisse blieb die sonst kostenrelevante Injektionsfrage hier ohne Einfluß.
- Reibungsverluste/Barwert
Da die Stollen unterwasserseitig in den Speicher Burtscha ausmünden und nie über die gesamte Länge unter Druck gehen, sind die hydraulischen Reibungsverluste hier energiewirtschaftlich ohne Bedeutung.
- Qualität/Betriebssicherheit
Da dem Beileitungsstollen der Speicher Burtscha nachgeschaltet ist, der als Entsander- bzw. Absetzbecken wirkt, sind hier allenfalls sich lösende Spritzbetonzuschläge oder -teile nicht betriebsbehindernd. Auch die geringere Qualität von Spritzbeton gegenüber Ortbeton wurde bei den gegebenen Anlagenverhältnissen im Hinblick auf allenfalls kurzfristige Betriebsunterbrechungen untergeordnet beurteilt.

5.4 Wahl der Endauskleidung

Die beiden Endauskleidungsvarianten wurden unter Berücksichtigung der auf die verbleibenden 20 % der Stollenstrecke noch möglichen Unsicherheiten bei den Auskleidungserfordernissen einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Dabei haben die objektiv kostenrelevanten Parameter (Herstellungskosten der Auskleidung, Kosten für Wassereinleitungen und Vorabdichtung, Baudauer - zeitgebundene Kosten, Injektionserforder-

nis und Barwert der Reibungsverluste) eindeutig für die Spritzbetonvariante gesprochen.

Die erzielbare Qualität der Auskleidung und damit die Betriebssicherheit der Stollen gab Anlaß zu intensiven Diskussionen zwischen Bauherrn, Planer und ARGE. Verunsicherung brachten die im Vergleich zur Ortbetonauskleidung geringe Anzahl ausgeführter Beispiele, das Bewußtsein möglicher Fehlerquellen bei unsachgemäßem Spritzbetoneinbau (Spritzschatten, eingespritzter Rückprall in Spritzbetonüberlappungen, Probleme mit Wasserzutritten, schwankende Spritzbeton-Lieferqualität an der Einbaustelle ...) und die Frage der Zumutbarkeit des großflächigen Trockenspritzbetoneinbaues im relativ engen Stollen für die Mannschaft. Zugunsten der erzielbaren Spritzbetonqualität sprach das Beispiel mehrerer kurzer Spritzbetonabschnitte im Walgaustollen, die nach 15 Jahren Betrieb bei einer Begehung in ausgezeichnetem Zustand vorgefunden wurden. Zudem konnte ein Vorgehen beim Spritzbetoneinbau festgelegt werden, das oben beschriebene Fehlerquellen mit großer Wahrscheinlichkeit ausschloß. Was die Belastung der Mannschaft betraf, sollte die Bewetterung bei Durchzug im Tunnel das Arbeiten in Frischluft zulassen.

Trotz gründlicher Analyse mußte der Bauherr das Vertrauen in eine konstant erzielbare hochwertige Handarbeit letztlich subjektiv bewerten. Diese Bewertung führte, zusammen mit der Bewertung der objektiven Parameter, zur Entscheidung für die Spritzbeton-Endauskleidung und diese Entscheidung wurde vom Bauherrn, vom Planer und der ausführenden ARGE gleichermaßen getragen.

5.5 Endauskleidungs-Regelprofile

Gemäß dem unter 5.2 beschriebenen Auskleidungserfordernis standen die beiden Auskleidungstypen "Typ I - 7,5 cm unbewehrt" und "Typ II - 10 cm bewehrt" zur Auswahl.

In den maschinell aufgefahrenen Tunnelabschnitten kamen diese beiden Typen gemäß Regelprofil - Bild 2 - zur Ausführung. Dabei war bei Typ I auf die Mindeststärke des Auskleidungsspritzbetons von 7,5 cm und eine Mindestdeckung der Stahleinbauteile von 5 cm zu achten. Bei Typ II wurde mittels Betonabstandhalter eine Distanz der Gitterbewehrung zur Vorklebung von 2 cm sichergestellt.

In den konventionell aufgefahrenen Strecken (Regelprofil - Bild 3) waren, was Auskleidungsstärke und Betondeckung der Stahleinbauteile betrifft, grundsätzlich dieselben Erfordernisse einzuhalten.

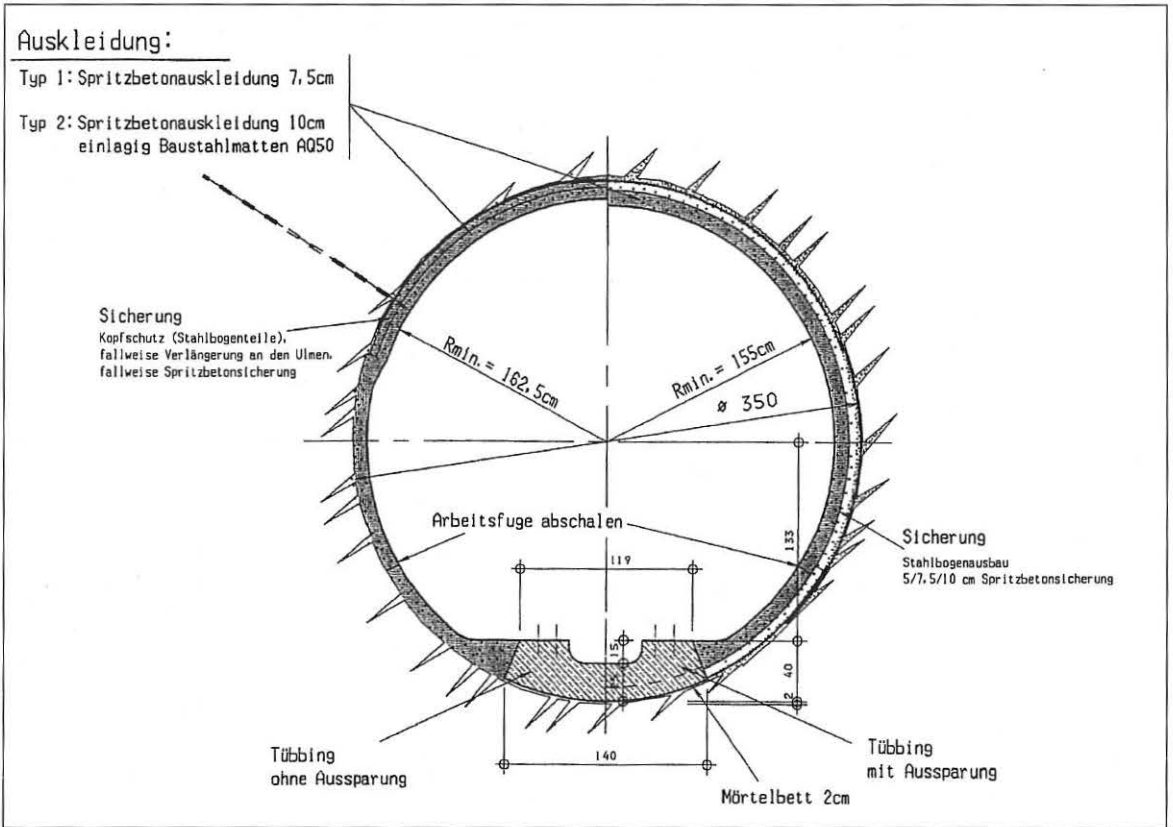


Bild 2: Spritzbeton-Endauskleidung bei TBM-Vortrieb

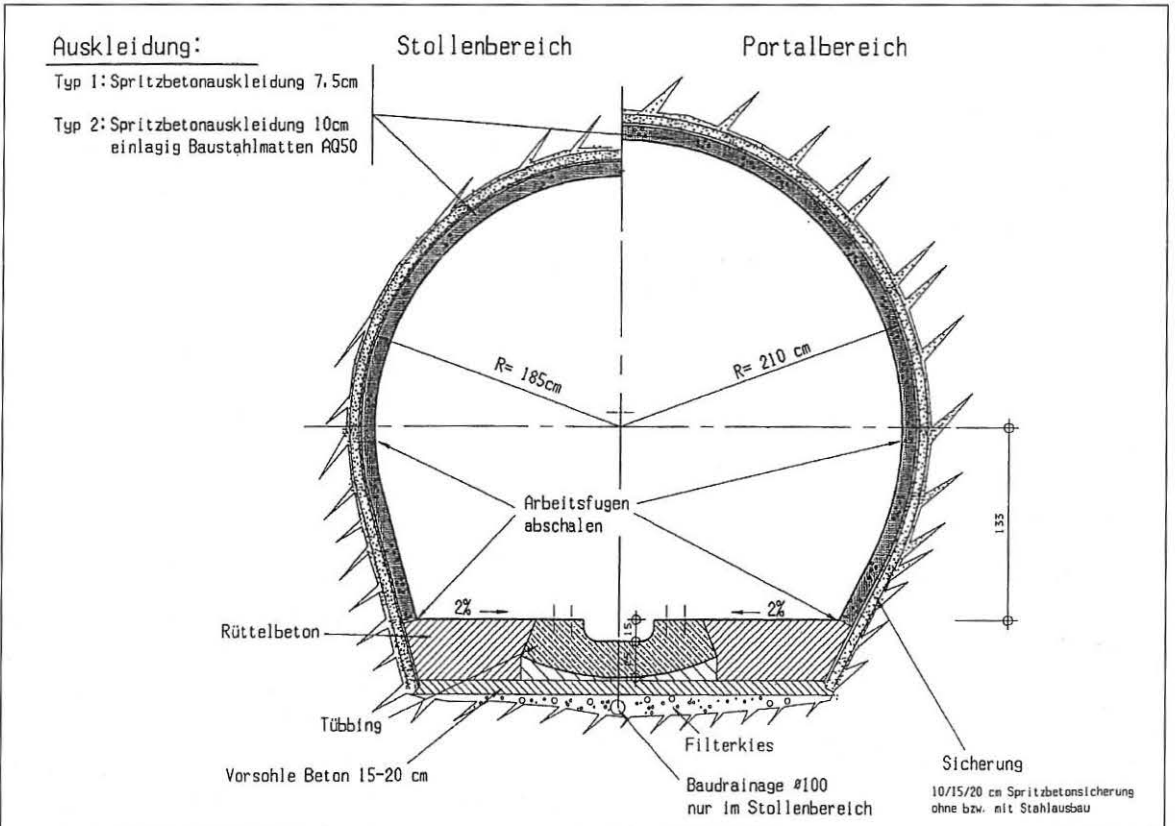


Bild 3: Spritzbeton-Endauskleidung bei konventionellem Vortrieb

Zudem war dort aufgrund der ebenen Sohle sicherzustellen, daß bei entleertem Stollen und wirksamem Außenwasserdruck sich ein Sohlstützgewölbe ausbilden kann, welches sich gegen die Spritzbetonschale abstützt. Dazu war der Auskleidungsspritzbeton im Sohlbereich abzuschalen und wurde nachträglich satt unterbetoniert.

Das in der Sohl-Drainage gefaßte Bergwasser wurde seitlich im Sicherungsspritzbeton hochgeführt und oberhalb der Wasserlinie in den Stollen beigeleitet, um bei Hochstand des Bergwasserspiegels den Druck auf die Sohle zu begrenzen und andererseits bei Tiefstand das Gebirge nicht zu bewässern und Wasserverluste zu vermeiden.

5.6 Spritzbeton mit alkalifreiem Beschleuniger

Da grundsätzlich die Wahl eines herkömmlichen Aluminatsbeschleunigers oder eines alkalifreien Spritzbetonbeschleunigers offenstand, waren auch diesbezüglich Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten. Eluiverversuche haben für reinen Rückprall mit Aluminatbeschleuniger die Eluatklasse II (gemäß ÖN S 2072) und mit alkalifreiem Beschleuniger die Eluatklasse Ib ergeben. Zudem war die gesundheitsschädliche Wirkung von Aluminatbeschleunigern zu berücksichtigen. Aus arbeitshygienischen, umweltrelevanten und letztlich auch aus ökonomischen Überlegungen, die sich aus der kostenmäßigen Bewertung der Deponiefrage ergaben, ist die Entscheidung für die Verwendung von alkalifreiem Spritzbetonbeschleuniger gefallen.

5.6 Auskleidungsmethode und erzielte Leistungen

Vorgängig zu den eigentlichen Spritzbetonarbeiten erfolgte die Fassung der Wasserzutritte und, wo vorgesehen, der Einbau der Baustahlgitter. Die Versorgung der Spritzbetoneinbaustelle erfolgte - gleisgebunden - von Westen, während der Spritzbetonrückprall Richtung Osten mittels Dumper auf eigens konstruiertem Gleisadapter entsorgt wurde.

Der Spritzbetonauftrag selbst erfolgte zuerst im unteren Ulmbereich mit geringer Zugabe von Beschleuniger und etwas erhöhter Wasserzugabe. Nach-

folgend wurde der Auskleidungsspritzbeton im oberen Ulm- und Firstbereich aufgebracht, wobei der anfallende Rückprall auf einer schwenkbaren Spritzbühne aufgefangen und anschließend auf ein zentrales Entsorgungsförderband gekippt wurde.

Die Spritzbetonleistungen waren von der Auskleidungsstärke abhängig und haben mit der Optimierung der Methode und kürzer werdendem Transportweg stetig zugenommen.

So stieg die mittlere Tagesleistung (3 x 8 Stunden) im Albonastollen auf 37 m/AT bei Spitzenleistungen bis zu 77 m/AT. Entlang des Burtschastollens stieg die Durchschnittsleistung auf max. 46 m/AT. Diese hohen Leistungen sind ganz wesentlich auf das innovative Verhalten der ARGE-Baustellenmannschaft zurückzuführen. Die Verwendung des alkalifreien Beschleunigers hat die Arbeitsbedingungen entscheidend verbessert. Es kam zu keinerlei Verätzungen oder arbeitsbedingten Ausfällen.

5.7 Füllprobe und Dichtigkeit

Im Albonastollen wurde an Abschlauchungen ein Bergwasserdruck von bis zu 30 mWS gemessen. Neben den geordneten Bergwassereinleitungen wurden entlang der Auskleidung keine Wasserzutritte festgestellt.

Im Zuge des Probebetriebes der Maschinensätze wurde der mit dem Speicher Burtscha kommunizierende Burtschastollen II eingestaut und einer Dichtheitsprobe unterzogen. Unter Berücksichtigung der eingeleiteten Bergwasserzutritte hat sich dabei die Stollenauskleidung als technisch dicht erwiesen.

6. Literatur

- [1] Fussenegger, F.:
Kraftwerk Klösterle - gutes Beispiel für technologisch und ökologisch hochstehende Planung und Bauausführung. VEÖ-Journal, Heft 7-8, Juli/August 1997, S. 44-46.
- [2] Vigl L.; Wörle, C.; Gerstner, R.:
Die Stollen des Kraftwerkes Klösterle. VEÖ-Journal, Heft 7-8, Juli/August 1997, S. 53-55.