
Erfahrungen mit der einschaligen Spritzbetonbauweise im Naßspritzverfahren am Vereinatunnel

PRACTICAL EXPERIENCE WITH THE SINGLE-SHELL SHOTCRETE METHOD USING WET-MIX SHOTCRETE DURING THE CONSTRUCTION OF THE VEREINA TUNNEL

BRUNO RÖTHLISBERGER, AMBERG INGENIEURBÜRO AG, SARGANS

Der Vereinatunnel, längster Schmalspurbahntunnel der Welt, wird von Norden mit einer Hartgesteins-Tunnelbohrmaschine und von Süden mit einem modernen Sprengvortrieb ausgeführt. Von den 19,3 km sind auf Ende 1995 gut 50 % oder 9,7 km aufgeföhren.

Mit Erfolg wird am Vereinatunnel Nord wie Süd ganz konsequent die einschalige Tunnelbauweise im Naßspritzverfahren mit selbst aufbereiteten Zuschlagstoffen angewendet.

Der Submission lag bei beiden Baulosen das Trockenspritzverfahren zugrunde. Der Wechsel vom Trocken- auf das Naßspritzverfahren wurden vor der Aufnahme der Vortriebsarbeiten vertraglich geregelt.

Die größere Spritzleistung, besseren Arbeitsplatzverhältnisse, Rückprallminimierung sowie eine bessere Betonqualität und nicht zuletzt Kosteneinsparungen begünstigten den Entscheid zur Umstellung auf Naßspritzbeton.

Im Laufe der Vortriebsarbeiten stand auch die Technologie der Zementherstellung nicht still. Die Anwendung eines neuen Tunnelzementes in Kombination mit alkalifreien Beschleunigern bestärken die Anstrengungen, für die Unternehmung wie für den Projektanten, die anspruchsvolle, einschalige Tunnelbauweise weiter zu entwickeln.

The Vereina Tunnel, the world's longest narrow-gauge railway tunnel, is driven from the northern end by a hard-rock tunneling machine and from the southern end according to a modern blasting method. About 50% or 9.7 km of the 19.3-km-long tunnel had been completed by the end of 1995.

In both the northern and southern section of the Vereina Tunnel, the single-shell shotcrete method using wet-mix shotcrete with site-prepared aggregates has been applied successfully.

For both construction lots the tender was based on the dry-mix shotcrete method. The change-over from the dry-mix to the wet-mix method was laid down in the contract before the start of the tunneling works.

The decision in favor of wet-mix shotcrete was prompted by greater shotcreting output, better working conditions, less rebound, superior shotcrete quality and, last but not least, cost savings.

While the tunnel was driven, there was also some progress in cement technology. A new tunnel cement used in combination with alkali-free accelerators has given fresh impetus to both contractors and engineers to further develop the ambitious single-shell shotcrete method.

1. Einleitung

Mit dem Bau des Vereinatunnels, zwischen Klosters im

Prättigau und Susch/Lavin, wird die bahntechnische Erschließung des Unterengadins wesentlich verbessert und mit der Einrichtung einer "Rollenden Straße" eine wintersi-

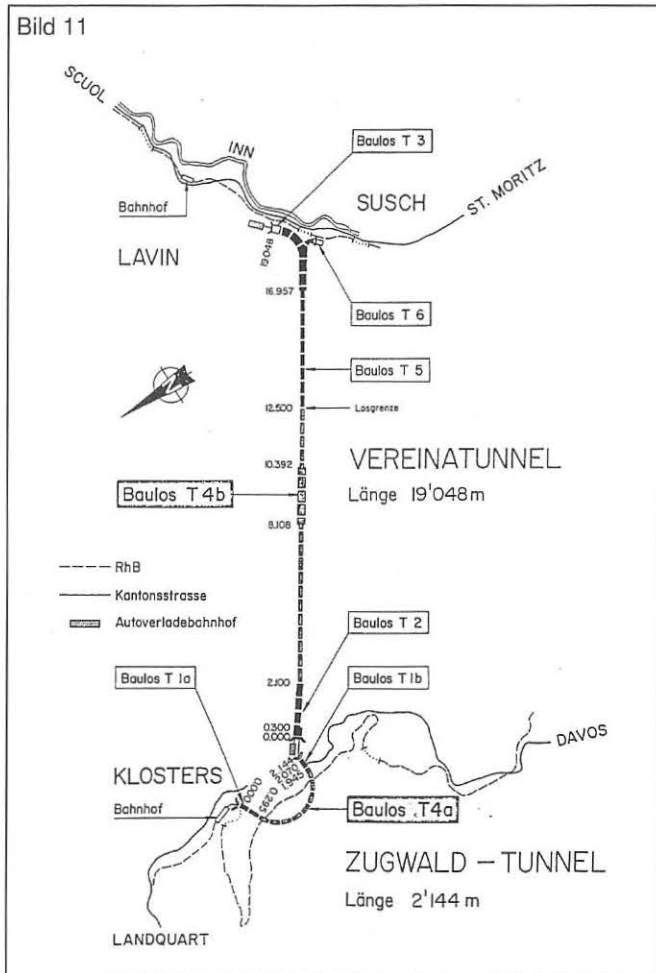


Bild 1: Übersicht der Tunnel-Baulose

chere Verbindung für Automobilisten hergestellt. Das Vereinaprojekt besteht aus zwei Tunnel:

- dem 19.300 m langen Vereinatunnel mit einem Abzweig im Bereich des Südportals ins Oberengadin und
- dem 2.200 m langen Zugwald-Tunnel

Mit dem Vereinatunnel wird von Norden nach Süden die Arosler-Schuppenzone, das Dorfbergkristallin und anschließend die mächtige Silvretta-Decke durchörtert. Überlagerungen bis zu 1.500 m in den Amphibolit- und Paragneisformationen wurden vom Vortrieb Vereina Süd ohne nennenswerte Deformationserscheinungen durchstoßen.

Der Zugwald- und der Vereinatunnel wurden in 4 Tunnelbaulose unterteilt (Bild 1). Kriterien für die Wahl der 4 Baulose waren die differenzierten, geologisch bedingten Vortriebsbauweisen.

Die Baulose T1a und T1b umfassen die beiden Lockermaterialstrecken des Zugwald-Tunnels. Der Gehängeschutt der Gotschna-Rutschmasse wurde im Jetverfahren aufgeföhren.

Das Baulos T2 umfaßt eine sprengtechnisch vorgetriebene 3- und 2-Spurstrecke mit einer Startkaverne bei Tunnelmeter 2.100 für die TBM.

1.700 m im Zugwald- und geplante 10.400 m TBM-Vortrieb im Vereinatunnel bilden das Hauptlos T4. Mit modernster Sprengtechnologie wird das Baulos T5 von Süden nach Norden vorgetrieben. Der Zugwald-Tunnel wurde im Oktober 1995 dem Bauherrn (der RhB) übergeben. Im Vereinatunnel Nord liegt der Vortriebsstand bei Tm 3.700. Der Vortrieb Süd hat den Tm 5.961 erreicht. Der ganze Vereinatunnel, exklusive 300 m 3-Spurstrecke im Norden, wird in der einschaligen Tunnelbauweise gebaut.

2. Anforderungen der Bauherrschaft und projektbedingte Randbedingungen

Die Bauherrschaft verlangte vom Projektanten einen Tunnel, der die Kriterien der Dauerhaftigkeit erfüllen muß. Die Dauerhaftigkeit, d. h. das Verhalten gegenüber Korrosionsmechanismen der Baustoffe und des gesamten Ausbausystems sind für die Erhaltung der Tragfähigkeit entscheidend wichtig.

Die Fahrgeschwindigkeit der Züge wurde mit 90 km/h festgelegt. Als Projektant mußten wir in den ersten Projektstadien die Wirtschaftlichkeit zwischen zwei- und einschaliger Bauweise prüfen. Als Randbedingungen mußte dabei auch die geografische Höhenlage des Tunnels, die Verwendung von Tunnelausbruch für die Aufbereitung von Betonzuschlagstoffen, der Anfall von betonaggressiven Bergwässern, insbesondere sulfathaltigem Wasser, in die Entscheidungsfindung einbezogen werden.

Unter Berücksichtigung aller relevanter Kriterien wurde der Entscheid für eine einschalige Bauweise gefällt (Bild 2). Man kann sagen, daß bei der einschaligen Bauweise der Spritzbetonausbau unter anderem eine Verstärkung der permanent wirksamen Felssicherung ist, womit letztere zum Bestandteil des Ausbaus wird.

Hohe Flexibilität in der Dimensionierung der Ausbauspritzbetonschale, keine speziellen Anforderungen an die Oberflächenstruktur der Gewölbeausbauschaale und die teilweise Mitberücksichtigung der permanent erstellten Felssicherung im Vortrieb waren Kriterien, die für den Bauherrn einen klaren Preisvorteil ergaben.



Bild 2: Spurstrecke Vereinatunnel Nord; einschalige Bauweise

3. Umstellung von Trocken- auf Naßspritzbeton

Sämtliche Tunnelbaulose wurden 1988/89 auf der Grundlage Trockenspritzbeton im Vortrieb und Gewölbeausbau ausgeschrieben. Umfangreiche Versuchsserien mit Naßspritzbeton, nicht zuletzt auch um die Arbeitsplatzverhältnisse zu verbessern, wurden von der SUVA (Schw. Unfallversicherung), der AUVA (allgemeine Unfallversicherungsanstalt Österreich), der TBG (Tiefbau Berufsgenossenschaft) mit verschiedenen Lieferanten von Betonzusatzmitteln 1990 und 1991 durchgeführt.

- Gemessene Feinstaubwerte zeigen, daß im Naßspritzverfahren eine wesentlich geringere Feinstaubentwicklung erreicht wird.
- Im Naßspritzverfahren wird eine Rückprallverminderung von 30 - 50 % erreicht.
- Die Spritzleistung im Naßverfahren wird verdoppelt.
- Im Dichtstromverfahren wird auch eine Qualitätsverbesserung erreicht.
- Mit der Umstellung auf Naßspritzbeton wird für die Bauherrschaft zudem ein Preisvorteil erwirtschaftet. Diese Aussage trifft für die Großbaustelle Vereinatunnel zu und muß immer pro Kubikmeter Spritzbetonschale an der Wand betrachtet werden.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien brauchte es auch noch die Bauherrschaft, welche aus Überzeugung bereit war, dieser Umstellung zuzustimmen.

4. Applikation des Naßspritzbetons

Auf den 21.500 Tunnelmetern wurden, resp. werden sehr große Kubaturen an Spritzbeton verwendet.

Aus installativen Randbedingungen, aber auch aufgrund der kleinen Spritzbetonmengen pro Einsatz wurde im Vortrieb des Bauloses T1a Trockenspritzbeton verwendet. Im Baulos T1b wurde im Vortrieb Naßspritzbeton im Dünnstromverfahren mit einer Aliva 286 und einem selbstfahrenden Spritzmobil eingesetzt. Im Baulos T2 wurde ab Tunnelmeter 400 auf Naßspritzbeton umgestellt. 25.000 m³ Naßspritzbeton wur-

den mit einem Cifa-Spritzmobil im Pneubetrieb appliziert (Bild 3).

Im TBM-Vortrieb Zugwald- und Vereinatunnel wird Naßspritzbeton im L2 mit einer stationären Cifa Spritzbetonpumpe und einem rundumlaufenden Spritzautomaten aufgetragen (Bild 4).

Im L1, d. h. direkt hinter dem Bohrkopf wird in stark gebräuchlichen Felsverhältnissen ebenfalls Naßspritzbeton verwendet. Die Düsenführung erfolgt in diesen Ausnahmefällen von Hand.

Für den Gewölbeausbau im Baulos T4a mit den anschließenden Lockermaterialstrecken setzte die Unternehmung ein Cifaspritzmobil ein. Für den Ausbau im Vereinatunnel Nord wird eine komplette, aufeinander abgestimmte Gewölbeausbauinstallation ab anfangs Januar 1996 in Betrieb genommen. Der Gewölbeausbau erfolgt zuerst links auf einer Länge von ca. 500 Tunnelmetern. Nach dem Verschieben der Ventilationslutte (Ø 2,40 m) wird der Ausbau rechts nachgenommen.

Die Installation ist naheliegenderweise gleisgebunden. Der Spritzbeton wird mit einer Cifa Spritzbetonpumpe und einem Cifa Spritzarm aufgetragen.

Im Vereinatunnel Süd wird im Sprengvortrieb ein Normet Spritzmobil auf Pneus und im rückwärtigen Gewölbeausbau ein gleiches Gerät schienengebunden eingesetzt.

Die einschalige Tunnelbauweise stellt Höchstanforderungen an alle am Bauwerk Beteiligten.

Ist es nicht so, daß sehr oft neue Bauverfahren, Bausysteme, der Betrieb von Geräteeinheiten mangels Verständnis und Ausbildungsmanko im Einsatz zum Scheitern verurteilt sind, oder zumindest auf der Ausführungsstufe verflucht und auf der Bauleitungsebene zu Kritik an der Arbeitsleistung und/oder zu Qualitätsmängel führen.

Der einschalige Spritzbetonausbau erfordert erfahrenes, engagiertes Personal, welches mit dem vorgegebenen Sy-



Bild 3: Cifa Spritzmobil, Baulos T2, Naßspritzbeton



Bild 4: Spritzautomat, Baulos T4, Naßspritzbeton

stem arbeiten will. Darin einbezogen muß unbedingt auch das Wartungspersonal sein.

Für den anspruchsvollen Gewölbeausbau im Vereinattunnel Nord begehen wir, nicht zuletzt aus vorgenannten Gründen, Neuland. Gerätelieferanten, Unternehmung und Bauleitung erarbeiteten gemeinsam ein Pflichtenheft betreffend Bedienung und Handhabung aller L3-Geräte aus, erstellten ausführungstechnische, qualitätssichernde Informationsblätter z. Hd. der Belegschaft und setzen nun im Januar 1996 obgenannte "Pflichtenhefte" nach Schulung der Belegschaft durch!

Erfahrung aus den bisher ausgeführten Spritzbetonarbeiten:

- Spritzleistung

Die heute eingesetzten Naßspritzbetonpumpen sind durchaus in der Lage bis zu 20 m³/h zu verarbeiten. Mit vernünftigem Schnellbindereinsatz soll die aufzutragende Spritzbetonschicht max. 10 cm betragen. Größere Schichtstärken führen unweigerlich zu Absackungen an der Wand, zu Ablösungen über Kopf und zu Ribbildungen. Damit diese maximale Schichtstärke mit dem Spritzautomaten korrekt aufgetragen werden kann, sollte die effektive Spritzleistung von 10 m³/h nicht überschritten werden.

- Rückprall

In einem regelmäßigen Ausbruchprofil sollte der Rückprall bei optimaler Applikation 12 % nicht überschreiten. Im Baulos T2, d. h. im Sprengausbruchprofil wurden mit verschiedenen Spritzbetonrezepturen Rückprallmessungen < 10 % festgestellt.

Grundvoraussetzung für eine Rückpralloptimierung ist ein abgestimmtes Spritzbetonrezept zwischen Siebcurve der Zuschlagstoffe, Zementart und Gehalt, sowie ein tiefer Wassergehalt.

In der Praxis zeigt sich immer wieder, daß mit zu grossem Düsenabstand, vor allem aber aus Angst vor Verstopfen, mit zu viel Druckluft gearbeitet wird. Spritzautomaten in Nachlaufkonstruktionen müssen so konzipiert sein, daß der Düsenabstand zwischen 1,0 m bis 1,50 m variiert werden kann.

- Düsentechnik

Die Düsenkonfiguration im Dichtstromverfahren muß dem in der Düse zugeführten Abbindebeschleunigertyp angepaßt werden.

Im September 1995 wurden umfangreiche Versuche mit pulverförmigen, alkalifreien Beschleunigern vor dem Portal des Vereinattunnels Nord durchgeführt. Dabei wird der Dichtstrom in einer Stahlleitung, Ø 75 mm, mit einer 12-Lochdüse aufgerissen, dann in einem ca. 3 m langen, armierten Gummischlauch, Ø 65 mm, als Dünnstrom geführt. Kurz vor der Düse wird der pulverförmige Abbindebeschleuniger zugegeben. Ob zuletzt mit einer zylindrischen Lanze, Ø 40 mm, oder einer leicht konischen

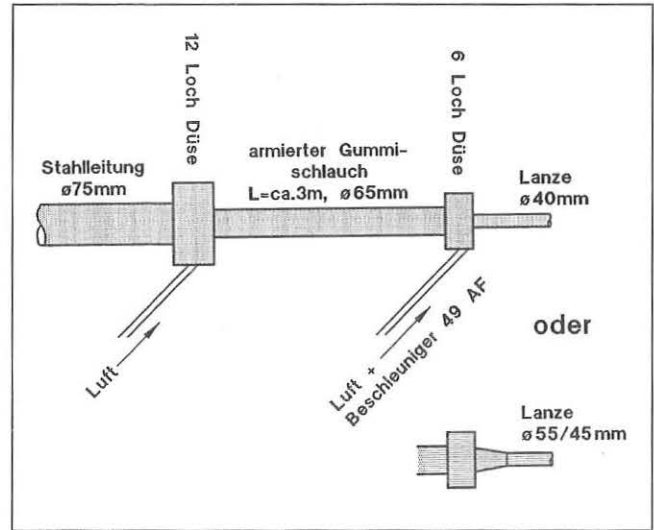


Bild 5: Düsenkonfiguration im Dichtstromverfahren mit alkalifreien Beschleunigern

Lanze, Ø 55/45 mm, gearbeitet wird, ist nicht von ausschlaggebender Bedeutung (Bild 5).

Bei der Verwendung von flüssigen Abbindebeschleunigern wird die Düsenkonfiguration einfacher. Unmittelbar hinter der 12-Lochdüse wird die Druckluft, bereits vermischt mit dem Abbindebeschleuniger, zugeführt. Der Dichtstrom wird erst kurz vor der Lanze aufgerissen.

- Staubverhältnisse

Die größte Staubreduzierung bei der Dichtstromförderung wird durch eine Minimierung der Luftmenge erreicht. Bei der Verwendung von pulverförmigen Abbindebeschleunigern stellt man sehr oft fest, daß die Dosieranlage infolge ungenügender Wartung bzw. falscher Lufteinstellung die größte Staubquelle ist. Zudem darf bei Spritzbeginn die Beschleunigerzugabe erst nach dem Spritzbeton erfolgen. Umgekehrt muß bei einem Spritzunterbruch der Beschleuniger vor dem Spritzbetondurchfluß abgestellt werden.

- Einsätze von Erstarrungsbeschleuniger

Beim Naßspritzverfahren kann aus verfahrenstechnischen Gründen nicht auf Erstarrungsbeschleuniger verzichtet werden. Man bedenke, daß bei 10 cm Spritzbetonschichtstärke überkopf, bei einer Spritzleistung von 12 m³/h, in ca. 30 sec, 250 kg Spritzbeton pro m² aufgetragen werden. Die Dosierung ist wiederum abhängig vom Bindemittelgehalt und vom Zementtyp. Der am Vereinattunnel (Bild 6) verwendete, siliziumvergütete Tunnelzement weist eine größere Klebrigkeit auf; dadurch kann der alkalifreie Abbindebeschleuniger bis auf 3 % des Zementgehaltes reduziert werden.

5. Naßspritzbetonrezepturen

- Zuschlagstoffe

Im Vereinattunnel Süd und Nord werden eigenaufbereitete Zuschlagstoffe verwendet. Mit 3 Komponenten, Brech-

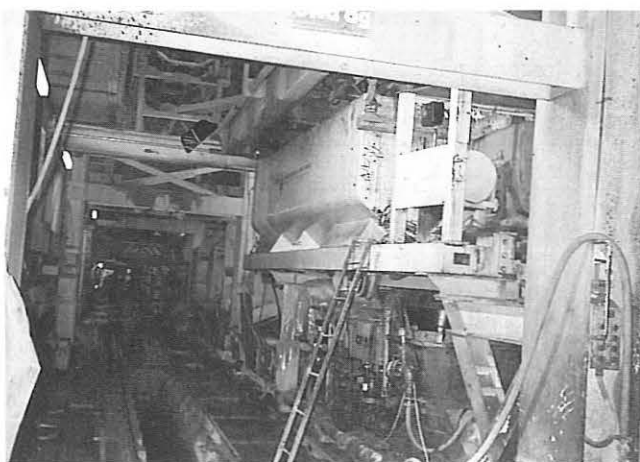


Bild 6: Naßspritzbetonumschlag in der Nachlaufkonstruktion, Baulos T4

sand 0 - 3 mm, gewaschener Brechsand 0 - 4 mm und Splitt 4 - 8 mm wird eine optimale Siebkurve erreicht.

- Zement

Im Vereinatunnel wird nur noch mit dem Bündner Tunnelzement BTC 800, resp. CEM II/A-M 52.5 mit einer Dosierung von 400 - 450 kg/m³ Spritzbeton gearbeitet. Der BTC 800 unterscheidet sich im wesentlichen vom Portlandzement im höheren Siliziumgehalt und etwas erhöhtem Glühverlust. Kurz nach dem Anmachen mit Wasser realisiert man eine klebrige, honigartige Ansteifung der Zementpaste. Diese Ansteifung bewirkt beim Naßspritzbeton die hohe Haftung des Frischbetons.

Die Sulfatbeständigkeitsprüfung des Mischzementes BTC 800 wurde von 3 unabhängigen Labors vorgenommen. Die vorläufig vorliegenden Ergebnisse deuten auf eine gute Sulfatbeständigkeit hin. Der BTC 800 scheint durchaus eine Alternative zum Portlandzement mit hoher Sulfatbeständigkeit (PCHS) zu sein. Um eine abschließende Beurteilung der Sulfatbeständigkeit vornehmen zu können, werden die Prüflinge unter gleichen Bedingungen noch über einen längeren Zeitraum weitergeprüft.

- Zusatzmittel

Bei jeder Rezeptanpassung, respektive Zusatzmittel-Zugabenveränderung muß unbedingt eine Kosten/Nutzenrechnung durch die Bauleitung angestellt werden. Ohne diese zwingende Rechnung können die Gestehungskosten pro Kubikmeter Naßspritzbeton an der Wand eine Höhe annehmen, die einer Vergleichsrechnung mit Trockenspritzbeton nicht mehr standhalten.

Um einen W/Z Faktor zwischen 0,48 - 0,54 zu erreichen, ist die Beimischung von 1 - 1,5 % Hochleistungsverflüssiger im Betonwerk zwingend.

Mit dem Einsatz des BTC können wir auf die Beimischung von Silicastaub verzichten.

Herkömmliche Alkalialuminate sind der Giftklasse III zuzuordnen und sind zudem ätzend. Die neuen alkalifreien

Abbindebeschleuniger sind giftklassenfrei und auch nicht mehr ätzend. In der Schweiz gibt es noch keine gesetzliche Verpflichtung, alkalifreie Beschleuniger zu verwenden.

Die Kosten pro Kubikmeter Spritzbeton mit Alkalialuminaten im Vergleich zu alkalifreien Beschleunigern sind heute nur noch unwesentlich tiefer. Die Tatsache, daß die Enddruckfestigkeit bei der Verwendung von alkalifreien Beschleunigern nicht reduziert wird, führt im Vereinatunnel dazu, daß die Umstellung in allen Losen angestrebt wird. Im Gewölbeausbau wurde bei allen Tunnellosen auf alkalifreie Beschleuniger umgestellt (**Tabelle 1**).

Standardmischung	Trockenspritzbeton		Naßspritzbeton	
Einheit	1 m ³ Trockengemisch		1 m ³ Frischbeton	
- Zuschlagstoffe	0,8 m ³	1.150 kg	1,25 m ³	1.770 kg
- Zement		300 kg		425 kg
- MS-Suspension	14 %	42 kg		-
- MS-Pulver i. Z.		-	5 %	21 kg
- HV-Mittel		-	1 %	4 kg
- Wasserzugabe		-	W/Z	0,50 ~130 kg
- Total ab Mischer:		1.492 kg		2.350 kg
Wasserzug./Düse:	W/Z0,44	ca. 85 kg		0 kg
Total Spritzgut		ca.1.580 kg		~ 2.350 kg
Faktor		ca. 1,5		

Tab. 1: Typische Spritzbetonrezepturen für Qualitätsspritzbeton (z. B. B35/25 mit BE-Mittel bzw. B 45/35 ohne BE-Mittel)

6. Qualität und Qualitätssicherung

Mit einer laufenden Qualitätskontrolle muß die Baustoffqualität während der Bauzeit gewährleistet sein. Die Eignung der vorgesehenen Zuschlagstoffe, Zusatzmittel etc. werden mit Vorversuchen nachgewiesen. Grundlage dazu bildet die SIA Norm 162. Die Anzahl der Prüfungen ist vertraglich in einem Prüfplan festgelegt. Erfüllte Prüfungen werden der Unternehmung rückvergütet. Beim Naßspritzbeton wird die einachsige Druckfestigkeit an Bohrkernen Ø 50 mm, die Wasserdichtigkeit gemäß DIN 1048 und die Frostbeständigkeit mit der Porosität- und in größeren Intervallen mit der Frostwechsellmethode geprüft. Einige losbezogene Resultatübersichten finden sich in den **Tabellen 2 bis 4** und den **Bildern 7 bis 9**:

Zusammenfassung T2	Felssicherung	Gewölbeausbau
Druckfestigkeiten, 28 T	40,6 N/mm ²	57,1 N/mm ²
Standardabweichung	5,5 N/mm ²	7,1 N/mm ²
Frostbeständigk. (mittel)	1,4	1,3
Wasserdichtigkeit (mittel)	26,0 mm	19,0 mm

Tab. 2: Die komplette Resultatübersicht für das Baulos T2, unterteilt in Felssicherungs- und Gewölbeausbauspritzbeton.

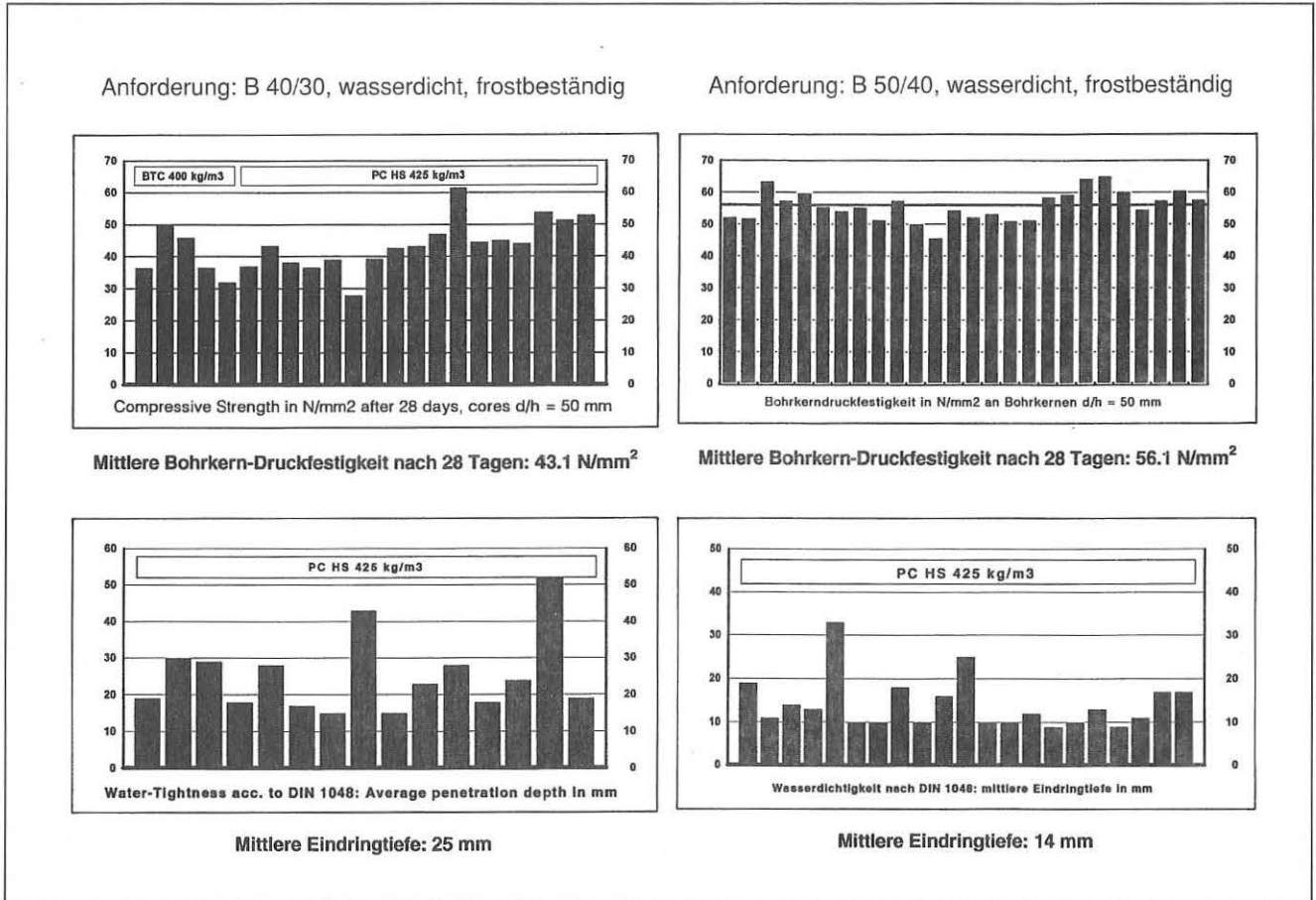


Bild 7: Vereinatunnel Nord, Baulos T2: 2-Spur-Tunnel; Sicherungs-/Verkleidungsspritzbeton

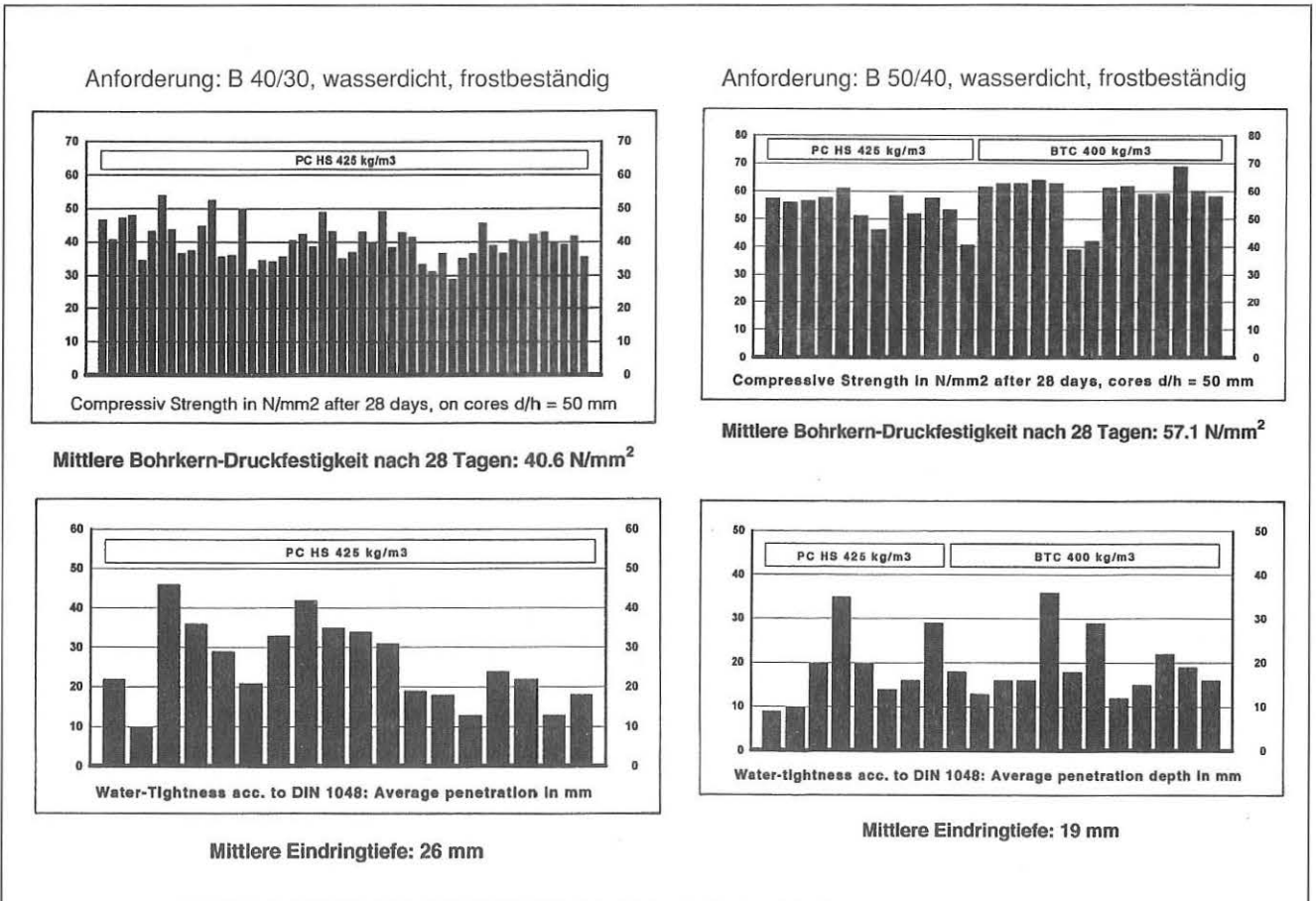


Bild 8: Zugwald-Tunnel, Baulos T4a: TBM-Strecke; Sicherungs-/Verkleidungsspritzbeton

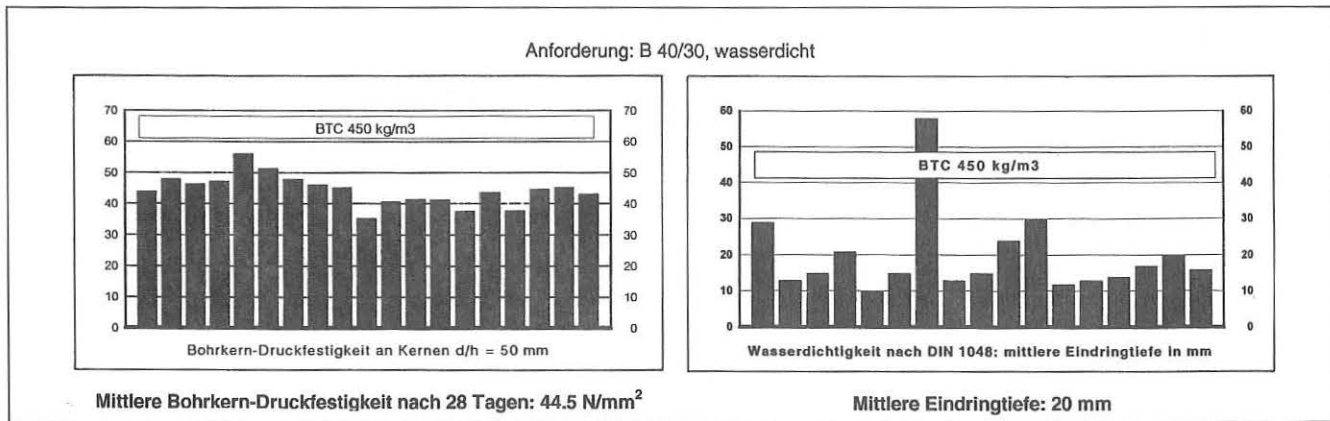


Bild 9: Vereinatunnel Nord, Baulos T4b, 1-Spur-Tunnel, Sicherungsspritzbeton

Zusammenfsg. Zugwald	Felssicherung	Gewölbeausbau
Druckfestigkeit, 28 T	43,1 N/mm ²	56,1 N/mm ²
Standardabweichung	7,8 N/mm ²	4,7 N/mm ²
Frostbeständigkeit FS	1,3	1,3
Frostwechselverh. N50	96,0	84,0
Wasserdichtigkeit	25,0 mm	14,0 mm

Tab. 3: Die komplette Resultatübersicht für den Zugwald-Tunnel, unterteilt in Felssicherungs- und Gewölbeausbauspritzbeton

Zusammenfassung T4b	Felssicherung
Bohrkerndruckfestigkeit, 28 T	44,5 N/mm ²
Standardabweichung	3,9 N/mm ²
Frostbeständigkeit FS	1,2
Frostwechselverhalten N50	1,2
Wasserdichtigkeit	20,0 mm

Tab. 4: Die komplette Resultatübersicht für das Baulos T4b, Felssicherungsspritzbeton

	Einheit	E-Preis CHF	Trockenspritzbeton 1m ³ Trockengemisch	Naßspritzbeton 1 m ³ Frischbeton
Standardmischung			1.580 kg/m ³	2.350 kg/m ³
Zuschlagstoffe	m ³	50,00	0,8 m ³	1,25 m ³
Zement	t	140,00	0,300 t	0,425 t
MS-Suspension	14 % kg	0,80	42 kg	-
Zuschlag f. Tunnelzement	kg	0,05	-	425 kg
HV-Mittel	(1 %) kg	4,00	-	4 kg
Materialkosten ab Mischer			115,60	159,25
Mischen pro m ³ TG bzw. Beton			12,40	15,20
Total pro m ³ TG bzw. Beton ab Anlage			128,00	174,45
Transport, Strom, Luft und Verschleiß			18,00	24,00
BE-Mittel	(4 %) kg	1,40	12 kg	12,75 kg
	(3 %) kg	3,00		
Löhne (5 m ³ TG bzw. 8 m ³ Beton/Std.)			35,00	40,00
Werkkosten pro m ³ TG bzw. Beton			197,80	276,70
Endzuschlag: 26 %			51,20	71,95
Total pro m ³ TG bzw. Beton			249,00	348,65
Volumen an der Wand:				
- bei 15 % Rückprall			0,58 m ³	
- bei 10 % Rückprall				0,91 m ³
Preis pro m ³ Festbeton lose (ca.)			CHF 430,00	CHF 383,00

Tab. 5: Kosten und Wirtschaftlichkeit; Beispiel für Großbaustelle z. B. 600 m² mit Schichtstärke von 5 - 10 cm auf glatte Felsoberfläche, unarmiert, d. h. ca. 50 m³ Festbeton pro AT, Qualität: B 35/25, wasserdicht, frühhochfest.

7. Kostenvergleiche Trocken-/Naßspritzbeton

Gemäß vertraglicher Definition entspricht 1,25 m³ Trockenspritzbeton 1.000 l erdfeuchten Zuschlagstoffe mit 350 kg Zement vermischt. 1 m³ Naßspritzbeton ist definiert mit 1.000 l fest in die Schalung eingebrachtem Beton.

Unter Berücksichtigung der Verdichtung und des Rückpralls ergeben 2 m³ Trockengemisch 1 m³ Festbeton an der Wand. Im Naßspritzbeton werden dazu mit 15 % Rückprall, 1,15 m³ Frischbeton benötigt.

1 m³ Trockengemisch entspricht 0,58 m³ Frischbeton.

In der Vergleichsrechnung, Fr. 430,- zu Fr. 383,- (Tabelle 5) muß sicher die rund 10 x teurere Installation im Naßspritzverfahren mitberücksichtigt werden.

Am Vereinatunnel zeigte sich, daß der Naßspritzbeton zwischen 5 - 10 % günstiger liegt als Trockenspritzbeton.

8. Zusammenfassung

Mehr als 50 % der Vortriebslänge und somit der Vortriebssicherung sowie über 1/3 des Gewölbeausbaus sind verbaut. Rückblickend darf man sagen, die Umstellung von Trocken- auf Naßspritzbeton hat sich gelohnt.

- Mit einer starken Reduktion des Rückpralls wurden Ressourcen eingespart und die mühsame Arbeit der Rückprallaufnahme reduziert.

- Bei guter Gerätewartung und -handhabung und minimaler Druckluftfeinstellung werden erstaunlich tiefe Feinstaubwerte gemessen.
- Die hohe Spritzleistung wirkt sich insbesondere im Gewölbeausbau sehr positiv aus.
- Hohe, stete Betonqualität überzeugen Unternehmer, Bauleitung, wie auch Bauherrschaft.
- Über Kosteneinsparungen bis zu 10 % kann sicher auch in Zukunft nicht hinweggesehen werden.