

Optimierung des Betonsystems der Alptransit-Baustelle Sedrun

Optimisation of the concrete production at the Alptransit construction site of Sedrun

Conradin Hürlimann

Einleitung

Um die Zunahme des alpenquerenden Verkehrs zu bewältigen, realisiert die Alptransit Gotthard AG eine Flachbahn. Als Herzstück dieser Transversale wird der 57 km lange Gotthard-Basistunnel in fünf Teilabschnitten aufgeföhren (Fig. 1). Das Teilstück Sedrun als mittlerer Abschnitt des Tunnels wird durch einen 1 km langen Zugangsstollen und zwei anschließende, parallele, 800 m tiefe Schächte erschlossen [1, 2]. Sämtliche Materiallieferungen erfolgen durch einen dieser Schächte.

Die Gesteinskörnung für den Beton wird aus dem Ausbruchsmaterial des Vortriebs über Tag aufbereitet und wieder zum Schacht-

Introduction

In order to cope with the increase in transalpine traffic, Alptransit Gotthard AG is constructing a minimum-gradient rail link. As the centrepiece of this transalpine link, the 57 km long Gotthard base tunnel is being driven in five partial sections (Fig. 1). The Sedrun section, as the central section of the tunnel, is accessed by means of a 1 km long access tunnel and two connecting, parallel, 800 m deep shafts [1, 2]. All deliveries of materials take place through one of these shafts.

The aggregate for the concrete is prepared above ground from the material excavated during the driving of the tunnel and trans-

fuss transportiert, wo sich auch die Betonanlage befindet. Hohe Anforderungen an die Dauerhaftigkeit prägen das Projekt ebenso wie grosse Herausforderungen an logistische Lösungen. In diesem Umfeld gilt es ein Betonsystem zu betreiben, das sowohl die Anforderungen des Bauherrn als auch jene des Verarbeiters zu erfüllen vermag. Der Unternehmer konnte in Zusammenarbeit mit den Lieferanten den bereits gut funktionierenden Gewölbebeton optimieren und damit noch besser auf die Bedürfnisse der Baustelle abstimmen.

Betonanlage und Transportsystem

Die Platzverhältnisse in der Kaverne, wo sich die Betonanlage befindet, sind beschränkt und die Anforderungen an den maximalen Betonausstoss der Anlage durch das Bauprogramm definiert. Das Verladen des Betons auf die Transportzüge (Fig. 2) darf also nur wenig Zeit in Anspruch nehmen, da sonst die Ausstossmenge der Anlage massiv reduziert würde. Mit den RoCon-Shuttles (Fig. 3) wurde eine spezielle Lösung für diese Baustelle neu entwickelt. Der tägliche Beton-Ausstoss variierte 2009 um die 600 bis 800 m³ mit Spitzen von über 900 m³.

Anforderungen des Bauherrn an den Festbeton

Bereits vor der Ausschreibung der Bauarbeiten mussten potenzielle Anbieterteams – jeweils ein Zement- und ein Zusatzmittellieferant – in einem gross angelegten Präqualifikationsverfahren nachweisen, dass sich mit ihren Produkten die vorgegebenen Betoneigenschaften erreichen liessen. Die vorgeschlagenen Betonmischungen wurden in einem auf-

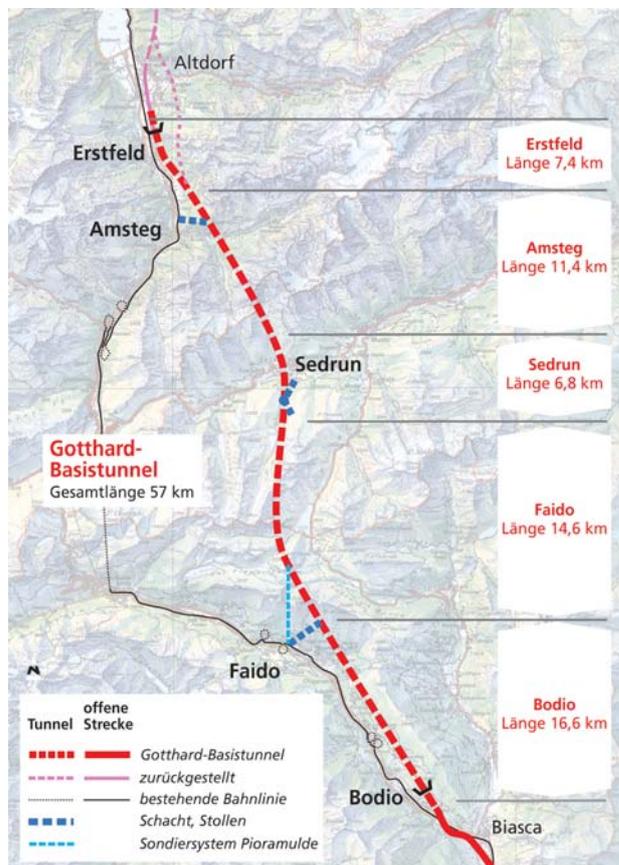


Fig. 1
Übersicht Gotthard Basistunnel (© Alptransit Gotthard AG).
Overview of Gotthard base tunnel (© Alptransit Gotthard AG).

ported again to the foot of the shaft, where the concrete production plant is also located. The project involves high requirements in terms of durability as well as major challenges in terms of logistical solutions. Against this background, the aim is to operate a concrete system that manages to fulfil both the requirements of the owner and those of the contractor. In cooperation with the suppliers, the contractor has been able to optimise the already well-functioning lining concrete and thus tailor it even more closely to the requirements on the construction site.

Concrete production plant and transport system

The space situation in the cavern in which the concrete production plant is located is restricted and the requirements in terms of the maximum output of concrete from the plant are defined by the construction schedule. Thus the loading of the concrete onto the transport trains (Fig. 2) may only take up a small amount of time, otherwise the output quantity of the plant would be massively reduced. A special solution has been developed for this construction site with the RoCon shuttles (Fig. 3). The daily output of concrete varied in 2009 between 600 and 800 m³, reaching sometimes even more than 900 m³.

Owner's requirements with regard to the hardened concrete

Even before the request for tenders for the construction work, potential teams of bidders – consisting in each case of a cement supplier and an additives supplier – had to prove, in a large-scale pre-qualification procedure, that the specified concrete properties are achieved using their products. The proposed concrete mixes were tested thoroughly in an extensive testing process [3]. The requirements for the hardened concrete in the Gotthard base tunnel are intended to guarantee a durability of at least 100 years. Specifically, this means:



Fig. 2
Ladevorgang unter beengten Verhältnissen (© Sika Schweiz AG).
Loading procedure in confined conditions (© Sika Schweiz AG).

wändigen Prüfverfahren getestet [3].

Die Anforderungen an den Festbeton im Gotthard-Basistunnel sind ausgelegt, um eine Dauerhaftigkeit von mindestens 100 Jahren zu gewährleisten. Dies heisst konkret:

- zuverlässige mechanische Eigenschaften (Druckfestigkeit, E-Modul)
- kontrolliertes Schwindverhalten
- erhöhte Sulfatbeständigkeit
- hohe Wasserundurchlässigkeit
- hoher Widerstand gegen Alkali-Aggregat-Reaktion

Die Arbeitsgemeinschaft entschied sich für den Einsatz eines CEM III/B 32,5 N für alle Betonsorten. Damit

- reliable mechanical properties (compressive strength, modulus of elasticity)
- controlled shrinkage behaviour
- increased resistance to sulphates
- high impermeability to water
- high resistance to alkali-aggregate reaction.

The consortium decided on the use of a CEM III/B 32.5 N for all concrete types. This means that the high durability of the concrete for the tunnel lining is reliably achieved and that the temperatures remain low on hydration. For logistical reasons, no second cement can be used in large quantities at the concrete production plant.

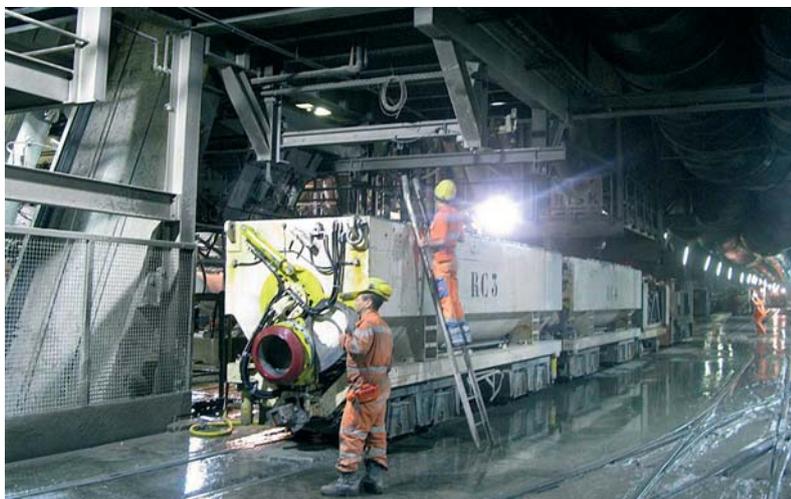


Fig. 3
RoCon-Shuttle beim Ladevorgang unter Tag (© Arge Transco).
RoCon shuttle during loading underground (© consortium Transco).



Fig. 4
Gewölbeschlagen. Montage der Stirnschalung (© Arge Transco).
Lining formwork car. Installation of the bulkhead formwork (© consortium Transco).

Betonmischungen Concrete design mixes		Bestehend Existing	Optimiert Optimised
Zement Cement	CEM III/B 32,5 N [kg/m ³] CEM I 42,5 N [kg/m ³]	375	275 100
Flugasche Fly ash	Hydrolent [kg/m ³]	70	70
Zusatzmittel Additives	Sika ViscoCrete-AT 304 [%] SikaPump-AT 31 [%] SikaTard-AT 11 [%]	1,2	1,5 0,3 0,0–0,2
Gesteinskörnung Aggregate	Total [kg/m ³] Sand 0/4 [%] Kies/Gravel 4/8 [%] Kies/Gravel 8/16 [%] Kies/Gravel 16/32 [%]	1750 22 10 41 27	1750 22 10 41 27
w/z w/c	[-]	~ 0,53	~ 0,52
w/b	[-]	~ 0,45	~ 0,44
Ausbreitmass Flow consistency	bei Herstellung [mm] on mixing [mm]	580–630	600–650
Verarbeitbarkeit Workability	Ausbreitmass > 500 mm [h] flow consistency > 500 mm [h]	3,5	4,0
Ausschalfrist Stripping time	Ab Betonherstellung [h] from mixing [h]	~ 16	~ 12,5

Fig. 5
Betonmischungen mit Anforderungen nach SIA 162 (1989): B40/30, w/b ≤ 0,50, d_{max} = 32 mm, Wasserleitfähigkeit ≤ 10g/m²h bei d = 20 cm, Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff XA2 (mit Sulfat).
Concrete design mixes with requirements according to SIA 162 (1989): B40/30, w/b ≤ 0,50, d_{max} = 32 mm, permeability ≤ 10g/m²h at d = 20 cm, resistance against chemical attack XA2 (with sulphates).

lässt sich die hohe Dauerhaftigkeit des Gewölbebetons sicher erreichen, und die Temperaturen bei der Hydratation bleiben gering. Aus logistischen Gründen kann auf der Betonanlage kein zweiter Zement in grossen Mengen verwendet werden.

Anforderungen des Unternehmers an den Gewölbebeton

Für die Herstellung des Betons, Beladung des Zugs, Transport zur Schalung und Einbringen müssen 2,5 bis 3 Stunden eingerechnet werden. Um mögliche Störungen zu berücksichtigen und um eine problemlose Reinigung des Betonzugs vor jedem Befüllen zu erreichen, wird eine Offenzeit von vier Stunden verlangt.

Der Beton soll beim Einbringen noch ein Ausbreitmass von mindestens 500 mm aufweisen. Damit er stabil bleibt, wird er mit einem Ausbreitmass von 600 bis 650 mm hergestellt und in den Zug verladen.

Das ambitionierte Bauprogramm des Unternehmers verlangt, dass in den Bereichen der Einspurröhren jede Schalung (Fig. 4) innert 24 Stunden einmal umgesetzt werden kann. Um zeitgerecht ausschalen zu können, fordert der Unternehmer 10 Stunden nach Ende des Einbringens des Betons eine Festigkeit von mindestens 5 N/mm².

Der Wasserzementwert (w/z) und die Betontemperatur beeinflussen den Konsistenzverlauf und die Entwicklung der Frühfestigkeit gegenläufig. Eine Senkung des w/z oder eine Erhöhung der Ausgangstemperatur vermindert die Offenzeit und beschleunigt die Festigkeitsentwicklung und umgekehrt. Die Gegebenheiten auf der Baustelle verursachen Schwankungen der Frischbetontemperatur zwischen 18 und 24 °C bei gleichzeitig ändernder Sieblinie, Petrografie (insbesondere Glimmergehalt) und Feuchtegehalt der Gesteinskörnung. Die Betonrezeptur muss deshalb insbesondere eine Robustheit gegenüber diesen Schwankungen aufweisen, um sowohl die Anforderungen an

Contractor's requirements with regard to the tunnel lining concrete

Between 2.5 to 3 hours must be allowed for the production of the concrete, loading of the train, transport to the formwork and placement. In order to take into account possible interruptions and to achieve a problem-free cleaning of the concrete train before each filling, an open time of four hours is required.

The concrete should still display a flow consistency of ≥ 500 mm on placement. In order that the concrete should remain stable, it is mixed and loaded into the train with a flow consistency of 600–650 mm.

The contractor's ambitious construction schedule demands that each formwork (Fig. 4) can be relocated once within 24 hours in the area of the single-track tunnels. In order to allow the formwork to be struck on schedule, the contractor demands a strength of at least 5 N/mm² ten hours following the end of placement of the concrete.

The water/cement ratio and concrete temperature have a contrary influence on the consistency and the development of early strength. A reduction in the water/cement ratio or an increase in the initial temperature reduces the open time and accelerates the development of strength and vice versa. The conditions on the construction site cause fluctuations in the fresh concrete temperature between 18 and 24 °C, with simultaneous changes in the particle size distribution curve, petrography

Verarbeitbarkeit als auch jene an die Frühfestigkeiten zu erfüllen. Die ursprüngliche Rezeptur (Fig. 5) bewährte sich eigentlich sehr gut. Die Frühfestigkeitsentwicklung ist jedoch für die kommenden Etappen in den Einspurröhren zu langsam.

Feldversuche auf der Baustelle

Um aussagekräftige Versuchsergebnisse zu erhalten, wurde der Beton auf der Anlage unter Tag produziert und im RoCon gelagert. Mit fortschreitender Anzahl von Feldversuchen erwies sich die Aussagekraft der vorgängigen Laborversuche in diesem speziellen Fall als sehr gering. So zeigten zum Beispiel Beschleuniger, die im Labor keinen Einfluss auf die Offenzeit hatten, beim Baustellenversuch mit derselben Betonmischung ein markant schnelleres Ansteifen des Betons [4].

Lösungsvarianten für die Optimierung

Zuerst wurde der Wechsel auf einen CEM III/B 42,5 N untersucht. Die Frühfestigkeiten verbesserten sich markant. Die gleichbleibende Offenzeit musste jedoch mit einem stärker verzögernden Fließmittel erkaufte werden, was den Gewinn an Festigkeiten etwas schmälerte.

Der Wechsel des Zements barg jedoch zu grosse Risiken: Obschon die Optimierung nur für eine einzige Rezeptur notwendig war, hätten sämtliche Betonrezepturen der Anlage auf einen Schlag umgestellt werden müssen. Daher wurde versucht, die erwünschte

(in particular the mica content) and moisture content of the aggregate. Therefore, the concrete mix design must, in particular, display robustness with respect to these fluctuations in order to fulfil both the requirements in terms of both workability and early strength.

The mix design (Fig. 5) has actually proved to be very successful. However, the development of early strength is too slow for the subsequent stages in the single-track tunnel tubes.

Field testing at the construction site

In order to obtain meaningful test results, the concrete was produced underground at the plant and stored in the RoCon. As the number of field tests increased, the importance of the precedent laboratory tests was shown to be surprisingly low in this particular case. For example, accelerators which had no influence on the open time in the laboratory led to a strikingly faster loss of workability of the concrete in tests on site using the same concrete mix [4].

Solution variants for optimisation

First, the change to a CEM III/B 42.5 N was investigated. The early strengths improved markedly. However, keeping the open time the same required the use of a more strongly retardant superplasticizer, which somewhat reduced the increase in strength.

However, changing the cement involved excessively high risks. All the concrete mix designs at the plant would immediately have to be changed, even though the optimisation is only necessary for a single formulation. For this reason the attempt was made to achieve the desired increase in strength using the existing CEM III/B 32.5 N with different additives. The original superplasticizer proved throughout the trials to be the optimal one for the combination of the cement with the problematic aggregate.

A further variant was added during the trial phase: The partial

Owner

Alptransit Gotthard AG

Project authors

Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Süd c/o Lombardi AG, Minusio; Amberg Engineering AG, Regensdorf; Pöyry AG Zurich

Execution

Consortium Transco - Sedrun: Implenia Bau AG, Aarau; Frutiger AG, Thun; Bilfinger Berger AG, Reichenburg and Munich (D); Pizzarotti SA, Bellinzona and Parma (I)

Concrete system

Holcim (Schweiz) AG, Zurich; Sika Schweiz AG, Zurich

Bauherrschaft

Alptransit Gotthard AG

Projektverfasser

Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Süd c/o Lombardi AG, Minusio; Amberg Engineering AG, Regensdorf; Pöyry AG Zurich

Ausführung

Arge Transco - Sedrun: Implenia Bau AG, Aarau; Frutiger AG, Thun; Bilfinger Berger AG, Reichenburg and München (D); Pizzarotti SA, Bellinzona und Parma (I)

Betonsystem

Holcim (Schweiz) AG, Zurich; Sika Schweiz AG, Zurich

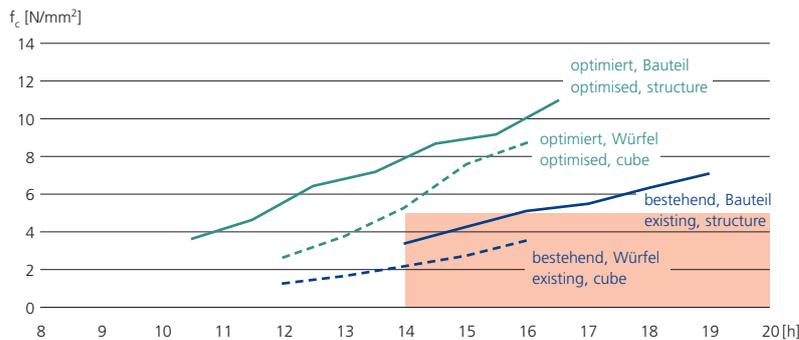


Fig. 6

Frühfestigkeitsentwicklung optimierter und bestehender Rezepturen mit Anforderungen des Unternehmers (> 5 N/mm² nach 14 h, roter Bereich).
Development of early strength of existing and optimised mix design with contractor's requirements (> 5 N/mm² after 14 h, red zone).



Fig. 7

Fertig betonerte Gewölbeblöcke (Vorläufer) © Arge Transco).
Finished concreted lining sections (front carriage) © consortium Transco).

Festigkeitssteigerung mit dem bestehenden CEM III/B 32,5 N mit anderen Zusatzmitteln zu erreichen. Das ursprünglich eingesetzte Fließmittel erwies sich über die ganze Dauer der Versuche als optimal für die Kombination des Zements mit der problematischen Gesteinkörnung.

Während der Versuchsphase kam eine weitere Variante hinzu: Der teilweise Ersatz des CEM III/B 32,5 N durch einen CEM I 42,5 N, um u.a. die Frühfestigkeiten zu steigern. Verschiedene Mischungen mit dieser Grundidee wurden geprüft. Diese Variante weist folgende Vorteile auf:

- Dosierung des CEM I 42,5 N nur bei dieser Betonsorte notwendig. Alle andern Rezepturen können unverändert beibehalten werden.
- Bedarf an CEM I 42,5 N ist so gering, dass nur ein Silo der Betonanlage damit bestückt werden muss.
- Für die Mischung werden nur Zusatzmittel verwendet, die

substitution of the CEM III/B 32.5 N with a CEM I 42.5 N. The aim here was to increase early strength. Different mixes were tested following this basic idea. This variant has the following advantages:

- Addition of the CEM I 42.5 N is only necessary with this concrete type. All other mix designs can be retained without any change.
- The quantity of CEM I 42.5 N required is so low that only one silo at the concrete production plant would be necessary for this.
- Only additives which are already available at the concrete production plant and which have been tried and tested on site are used for the mix.
- The mix offers some flexibility in reacting to temperature influences. For example, at low temperatures, if the early strengths are not achieved, more CEM I 42.5 N can be added.
- The outstanding properties of the hardened concretes in terms of durability, which were achieved using the pure CEM III/B 32.5 N, are only minimally reduced.

This solution fulfils all the requirements in terms of workability and strength development (Fig. 6). The decision was therefore made in favour of this last variant. Since the construction management team approved this mix, it is being used successfully (Fig. 7).

bereits auf der Betonanlage vorhanden sind und die sich auf der Baustelle bewährt haben.

- Die Mischung bietet eine gewisse Flexibilität, auf Temperatureinflüsse zu reagieren. So kann bei tiefen Temperaturen, sollten die Frühfestigkeiten nicht erreicht werden, mehr CEM I 42,5 N zugegeben werden.
- Die hervorragenden Eigenschaften des Festbetons bezüglich Dauerhaftigkeit, die mit dem reinen CEM III/B 32,5 N erreicht wurden, reduzieren sich nur minimal.

Mit dieser Lösungsidee können die Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und die Festigkeitsentwicklung erfüllt werden (Fig. 6). Die Entscheidung fiel daher zugunsten dieser letzten Variante und erhielt die Bewilligung der Bauleitung. Seither wird diese Mischung mit Erfolg eingesetzt (Fig. 7).

Referenzen/References

- [1] P. Teuscher, P. Zbinden; Die Alptransit-Projekte am Lötschberg und am Gotthard, Betonbau in der Schweiz, SIA für fib-CH, 2002.
- [2] D. Marti, R. Meier, A. Theiler; Gotthard-Basistunnel – Teilabschnitt Sedrun, tunnel 4/2004, S. 22 ff.
- [3] B. Gugelmann; Optimierung der Betonproduktion auf der AlpTransit-Baustelle Bodio, SIA für fib-CH, 2006.
- [4] J. Schlumpf; Beschleunigter Konstruktionsbeton, Betonbau in der Schweiz, SIA für fib-CH, 2006.

Autor/Author

Conradin Hürlimann
dipl. Bauing ETH
Produktioningenieur Tunnelbau
Sika Schweiz AG
CH-8048 Zürich
huerlimann.conradin@ch.sika.com