

## Betontechnologie am längsten Eisenbahntunnel der Welt

Jürg Schlumpf, SIKA

Am 15. Oktober 2010 war es so weit: Der weltweit längste Tunnel wurde Realität. Vor zahlreichen Gästen fand der Hauptdurchschlag am Gotthard statt. Es war ein verkehrspolitischer Meilenstein für die Schweiz und Europa. Während der eigentliche Eisenbahntunnel 57 Kilometer lang ist, umfasst das gesamte Tunnelsystem 152 Kilometer. Ab Ende 2016 werden die Züge mit einer Geschwindigkeit von bis zu 250 Kilometern pro Stunde durch die neue Röhre fahren und damit die Reisezeit zwischen Zürich und Mailand um fast eine Stunde verkürzen. Sika arbeitete an diesem hochkomplexen Bauwerk seit Beginn mit und war an der Realisierung sämtlicher fünf Baulose beteiligt. Das Unternehmen leistete somit einen wesentlichen Beitrag dazu, dass der NEAT-Basistunnel (Neue Europäische Alpen Transversale) wasserdicht ist und damit dauerhaft bleibt.

Der Ausbau des Tunnels zwischen Erstfeld und Bodio ist mit einem Gesamtvolumen von CHF 200 Mio. einer der grössten Einzelaufträge für Sika in den vergangenen hundert Jahren. Gleichzeitig kehrte das Unternehmen mit diesem Projekt im Jubiläumsjahr 2010 zu seinen Wurzeln zurück: 1910 hatte Firmengründer Kaspar Winkler mit Sika-1, einem Mittel, das Mörtel und Beton wasserdicht macht, sein erstes Produkt auf den Markt gebracht. Acht Jahre später schafften der Erfinder und sein junges Unternehmen bei der Elektrifizierung des Gotthardtunnels den Durchbruch. Kaspar Winkler erhielt den Auftrag, mit seinem Produkt den alten Eisenbahntunnel (Eröffnung 1. Januar 1882) durch den Gotthard vor Wassereintritt zu schützen. Dabei mussten die Fugen des bestehenden Bruchsteinmauerwerkes für die bevorstehende Elektrifizierung der Bahn wasserdicht abgedichtet werden. Auch der Bau des neuen Basistunnels ist geprägt von hohen

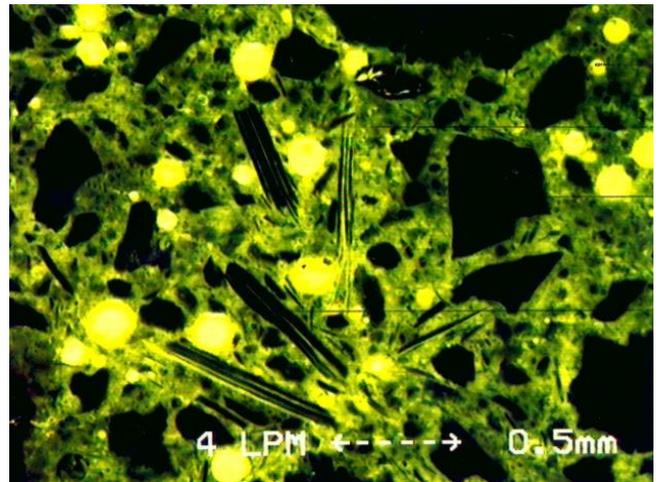
Anforderungen an die Dichtheit und Dauerhaftigkeit. Sika ist seit den ersten Tests im Jahr 1994 an der Entwicklung beteiligt. Die Ingenieure erprobten in einem aufwendigen Präqualifikationsverfahren die verschiedenen Rezepturen des Betons, des Spritzbetons und der Abdichtungslösungen. Dabei mussten die hohen Temperaturen von bis zu 45 Grad Celsius und die enorme Feuchtigkeit im Tunnel berücksichtigt werden. Es galt, unter bis zu 2 000 Metern Fels ein Betonsystem zu entwickeln, das den Anforderungen sowohl des Bauherrn als auch des Verarbeiters genügt. Wichtig war unter anderem, den Beton über mehrere Stunden und weite Strecken pumpbar zu halten. Vor Ort eingebracht, musste der Beton dann sehr rasch erhärten um kurze Taktzeiten zu erreichen.



**Abbildung 1:** Betonverarbeitungsanlage Bodio

Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist es von grösster Bedeutung, den bezüglich Volumenanteils bedeutendsten Bestandteil des Betons, die Zuschlagstoffe (Sand und Kies) unter Kontrolle zu halten. Es war eine Vorgabe des Bauherrn AlpTransit, dass nur Zuschläge aus dem Ausbruch des Tunnels zur Herstellung der Betone verwendet werden durften. Dazu musste das gesamte Ausbruchmaterial, ob aus dem Sprengvortrieb oder dem TBM-Vortrieb (TBM = TunnelBohrMaschine) zuerst gesichtet und in Qualitätsgruppen eingeteilt werden. Danach wurden Kornfraktionen gebildet, aus denen die Betonrezepturen für die verschiedensten Anforderungen bei der Betonproduktion neu zusammengestellt wurden. In einzelnen Losen hatten sich dabei grosse Herausforderungen mit

volumenmässig hohen Anteilen an Glimmer ergeben, die für die dauerhafte Betonqualität nachteilig sind. Mittels aufwändiger Verfahren wurde diese Komponente bereits bei der Aufbereitung bestmöglich aus dem Sand getrennt. Im Bild (Abbildung 2) dargestellt handelt es sich beim Glimmer um die dünnen, schichtartigen Plättchen.



**Abbildung 2:** Dünnschliffanalyse

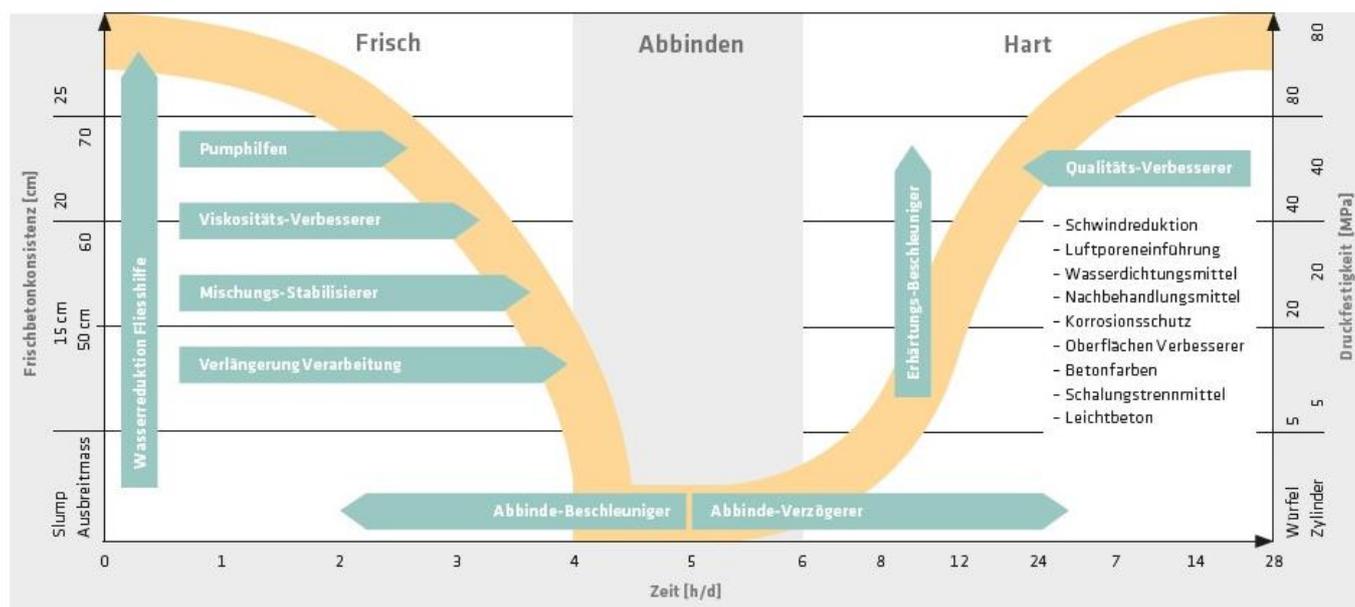
Zur Verarbeitung der Betone werden verschiedene Beton- und Spritzbeton-Zusatzmittel eingesetzt: Fließmittel, Erstarrungs- und Erhärtungsbeschleuniger, Langzeitverzögerer, Verarbeitungshilfen (Pumphilfen), Luftporenbildner und Mischungsstabilisatoren, welche alle chemisch und/oder physikalisch auf die Feinanteile im Beton wirken. Alle diese Additive geben dem Beton, dem wichtigsten Werkstoff eines Tunnelprojektes, die gewünschte Flexibilität und Beständigkeit. Die zu erfüllenden Hauptanforderungen sind dabei:

1. Zuverlässige mechanische Eigenschaften (Druckfestigkeit, E-Modul, Schwinden)
2. Lange und kontrollierte Verarbeitungszeiten (hohe Temperaturen und lange Transportwege)
3. Hohe Frühfestigkeitsentwicklung (kurze Ausschaltzeiten)
4. Kontrolliertes Schwindverhalten (minimale Rissbildungen)
5. Erhöhte Sulfatbeständigkeit (aggressive Berggewässer)
6. Hohe Wasserundurchlässigkeit
7. Hoher Widerstand gegen Alkali-Aggregat-Reaktion

Um den mannigfaltigen, zum Teil widersprüchlichen Anforderungen Rechnung zu tragen, wurden den Betonrezepturen neben der Wahl des geeigneten Bindemitteltyps und der vorsichtigen Wahl der Komponenten und Siebkurven Kombinationen von Betonzusatzmitteln und –

stoffen zur Steuerung all dieser Anforderungen zugegeben. Es galt dabei komplizierten Wechselwirkungen der fünf im Beton eingesetzten Komponenten Rechnung zu tragen. Folgende Grafik zeigt schematisch die Wirkungsweise unterschiedlicher Zusatzmittelarten (Abbildung 3).

### Betonzusatzmittel Toolbox



**Abbildung 3:** Übersicht der Betonzusatzmittelanwendungen zur Steuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften

Auch an die Abdichtungsmembranen (Folien) und deren Verarbeitung vor Ort wurden höchste Anforderungen gestellt. Die Membranen in den Abdichtungssystemen müssen das Eindringen von Wasser verhindern und das Bauwerk vor chemisch und biologisch aggressiven Stoffen schützen, die im Grundwasser und im Erdreich vorkommen. Insgesamt wurden für den Bau des Gotthard-Basistunnels mehr als drei Millionen

Quadratmeter Abdichtungsmembranen verlegt. Sämtliche Tests haben ergeben, dass die Lösungen der Ingenieure für den Gotthard-Basistunnel den hohen Anforderungen entsprechen.

Der Gotthard-Basistunnel wird so ab 2016 für die nächsten 100 Jahre den Güter- und Personentransport zwischen Nord und Süd erheblich beschleunigen und vereinfachen.

### Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

www.satw.ch

Juni 2016

Dieser Artikel entstand für die SATW Rubrik „Im Fokus“ zum Thema Gottardo 2016.

Gestaltung: Claudia Schärer

Bilder: SIKA