

Beton-Nachbehandlung: Einfluss der Behandlung auf die Qualität von dampferhärteten Betonelementen

Autor(en): **Brugger, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 44

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-86037>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Beton-Nachbehandlung

Einfluss der Behandlung auf die Qualität von dampferhärteten Betonelementen

Beim Bau des Bözbergtunnels der N3 wurde der Einfluss der Beton-Nachbehandlung auf die dampferhärteten Stahlbetontübbings von Beton B45/35 (HPCHS 325 kg/m³ sulfatbeständig) und B45/35 (HPC 325 kg/m³) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine dampfdichte und wärmeisolierende Abdeckung der frisch ausgeschalteten Tübbings während der ersten 24 Stunden eine erhebliche Qualitätsverbesserung ergibt.

Tübbingherstellung

Dampferhärtete Betonelemente haben in den letzten 20 Jahren auch in der Schweiz eine grosse Bedeutung erlangt.

VON MARTIN BRUGGER,
ENNETBADEN

Im Vordergrund steht dabei der stark verkürzte Erhärtungsprozess. Die Ausschalfestigkeit wird bereits nach wenigen Stunden erreicht, was besonders bei fabrikmässiger Serienproduktion von Bauteilen wirtschaftlich ins Gewicht fällt.

Man nimmt bei dieser beschleunigten Erhärtung allerdings oft eine etwas geringere Druckfestigkeit und eine etwas schlechtere Gefügequalität des Betons, im Vergleich zum normal erhärteten Beton, in Kauf. Wie im folgenden gezeigt wird, lässt sich dieser Nachteil ohne grossen Aufwand durch eine zweckmässige Beton-Nachbehandlung beheben.

Vorerst einige allgemeine Bemerkungen zur Tübbingherstellung beim Bözbergtunnel: Für die äussere Verkleidung der zwei Tunnelröhren mit je einem Ausbruchdurchmesser von 11,93 m und einer Gesamtlänge von 7,4 km werden etwa 30 000 Stahlbetontübbings benötigt, die in der Feldfabrik auf dem Installationsplatz Süd hergestellt werden. Pro Arbeitsschicht (9 h) durchlaufen die 20 Stahlschalwagen auf Schiene zweimal das Produktionskarussell. Bei einem Zweischicht-Betrieb liegt somit die Tagesleistung bei max. 80 Tübbings. Die Tübbings werden nach einer Lagerung von rund vier Wochen im Tunnel eingebaut.

Fünf praktisch gleichgrosse Tübbings, nämlich je zwei Sohl- und Ulmtübbings und ein Firsttübbing, deren Abmessungen in Bild 1 dargestellt sind, samt

einem kleinen, 0,7 m breiten Schlussstein in der Sohle, bilden zusammen einen 1,25 m langen Tübbingring.

Voraussichtlich werden die Tübbings zu je der Hälfte mit HPCHS «Sulfacem-Special» (hochwertiger sulfatbeständiger Portlandzement) und HPC (hochwertiger Portlandzement) hergestellt. Die Bewehrungsüberdeckung beträgt 3,5 cm.

Zur Herstellung eines Tübbings sind rund 3,6 m³ Frischbeton erforderlich, der 32 bis 34 °C warm in die ungewärmte Stahlschalung in 15 Minuten eingebracht wird. Danach deckt man die freie abtalschierte Betonoberfläche (im Tunnel ist es die äussere, felsseitige Fläche des Tübbings) mit Isoliermatten.

Darauf wird die Schalung vollautomatisch, praktisch ohne Vorlagerungszeit nach dem Betonieren, in einen Dampfkanal geführt, den sie bei einer mittleren Umgebungstemperatur von 40–42 °C während 4 1/2 Stunden durchfährt. Der Dampf strömt von unten an die Schalung, um zu verhindern, dass die abgedeckte Betonoberfläche einen Schaden erleidet. Nach dem Verlassen des Dampfkanals werden die rund 8,5 t schweren Tübbings bei einer Druckfestigkeit von ca. 15–25 N/mm² mit Vakuumkissen aus der Schalung gehoben,

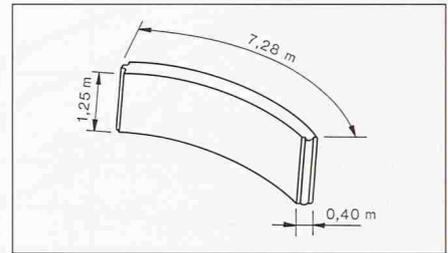


Bild 1. Abmessungen eines Tübbings

um 90° gedreht und auf einen Anhängerwagen geladen, auf dem sie von der Produktionshalle zum Lagerplatz im Freien gefahren und dort stehend gestapelt werden. Zu diesem Zeitpunkt liegt die mittlere Tübbingtemperatur zwischen 50 und 65 °C (siehe Bild 2).

Die Tübbingtemperatur kann so je nach Jahreszeit bis zu 70 °C höher sein als die Umgebungstemperatur, was hauptsächlich zwei Gefahren für die Betonqualität in sich schliesst:

Infolge der höheren Betontemperatur gegenüber der Umgebungstemperatur ist der Dampfdruck des Wassers im Beton höher als in der Umgebung, das im Beton noch vorhandene freie Wasser beginnt zu verdampfen. Es entsteht ein Wassermangel, der eine vollständige Hydratation des Zements verhindert. Der Beton kann seine mögliche Endfestigkeit nicht erreichen.

Infolge des grossen Temperaturgefälles (Abkühlungsschock) über den Betonquerschnitt können Zugspannungen und dadurch Gefügestörungen entstehen. Diese beeinträchtigen die Festigkeit und Dichte des Betons.

Versuchsprogramm

Im Hinblick auf diese Gefahren führte man in der ersten Produktionsphase mit HPCHS (Betonmischung Nr. 12, Rezep-

Tabelle 1. Frischbeton-Zusammensetzung je m³

Parameter	Mischung Nr. 12	Mischung Nr. 13
	Rezeptur Nr. 7	Rezeptur Nr. 16
	kg/m ³	kg/m ³
Zement	325	325
Gesamtwassermenge	153	140
Zuschlagsstoffe (Trockengewicht) aus Reussalluvion aufbereitet		
Brechsand 0-3mm	236	226
Natarsand 0-4mm	497	481
Kies 8-16mm	515	505
Kies 16-32 mm	733	808
Zusatzmittel (Verflüssiger)	0	2,6
Frischbetongewicht	2459	2488
Mehlkorngehalt		
< 0,250 mm	409	408
< 0,125 mm	363	362

zwischen Betonoberfläche und Kernbereich feststellbar. Feine Risse bis 0,05 mm Breite waren über den ganzen Querschnitt von 40 cm verteilt. Nur vereinzelt traten nahe an den Oberflächen Anreicherungen von Gefügestörungen auf.

Die Dünnschliffe bei den Tübbings Nr. 2 und 3 (mit Nachbehandlung während 1 bzw. 7 Tagen) zeigten eine gute, praktisch störungsfreie Gefügequalität. Ein Unterschied zwischen 1 Tag und 7 Tagen Nachbehandlung war nicht feststellbar.

An den Tübbings mit HPC wurde zusätzlich, anhand von Bohrkernproben (Betonalter 28 Tage) die Wasserleitfähigkeit (q_w) sowie die Trockenrohddichte (R_d), die Kapillarwasseraufnahme (A₅) und die Gesamtporosität (A_v) bestimmt. Die Mittelwerte über den Querschnitt betragen: R_d = 2310 kg/m³ (Aussenseite 2296 kg/m³, Innenseite 2331 kg/m³); A₅ = 10,4% und A_v = 12,3%. Bei diesen Bestimmungen war kein messbarer Einfluss infolge verschiedener Nachbehandlung feststellbar.

Bei der Wasserleitfähigkeit (Prüfung Nr. 5 SIA 162/1, bezogen auf eine Bauteildicke von 100 cm) liegt der Mittelwert bei Tübbing Nr. 1 bei 2,58 g/m² h und bei Nr. 3 bei 2,42 g/m² h.

Wie der Tabelle 3 zu entnehmen ist, nimmt im 40 cm dicken Tübbingquerschnitt die Druckfestigkeit von unten nach oben um durchschnittlich 10 N/mm² ab, was mit der Betonverarbeitung zusammenhängt. Die erforderliche hohe Verdichtungsenergie wird vorwiegend mittels Schalungsvibration von unten eingeleitet.

Folgerung für den Bözbergtunnel

Die Auswertung der Versuchsergebnisse führte dazu, dass beim Bözbergtunnel alle Tübbings während eines vollen Tages nach dem Ausschalen systematisch abgedeckt werden. Schon beim Transport von der Produktionshalle zum Lagerplatz werden sie zugedeckt, worauf eine Abdeckung ganzer Lagen von Tübbings durch grosse Blachen aus beidseitig mit PVC beschichteten Polyestergerweben (600 g/m²) während eines Tages folgt (Bild 3).

Zusammenfassung

Die systematische Nachbehandlung der dampferhärteten Stahlbeton-Tübbings für den Bözbergtunnel durch eine dampfdichte und wärmeisolierende Abdeckung geschieht nach derselben Methode, wie sie beim Ärmelkanaltunnel im Werk Isle of Grain auf der britischen

Parameter	Einheit	Mischung Nr. 12 Rezeptur Nr. 7	Mischung Nr. 13 Rezeptur Nr. 16
1. Portland Zement			
Mahlfeinheit (Blainewert)	cm ² /g	4000	4800
Mörteldruckfestigkeit			
1 Tag	N/mm ²	28	42
2 Tage	N/mm ²	42	54
7 Tage	N/mm ²	64	--
28 Tage	N/mm ²	72	72
2. Frischbeton			
Frischbetontemperatur	°C	32	34
Konsistenz (Verdichtungsmass n. Walz)		1.14	1.17
Luftporengehalt im Frischbeton	%	0.9	1.0
3. Festbeton			
Druckfestigkeit vor dem Ausschalen (Alter 5,5h)	N/mm ²	17	25
Würfeldruckfestigkeit an nicht dampf-behandelten Würfeln bei Standard-Lagerung			
7 Tage	N/mm ²	44	50
28 Tage	N/mm ²	53	56

Tabelle 2. Zement- und Betoneigenschaften

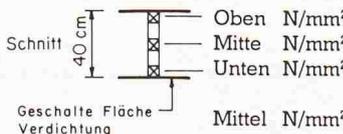
Untersuchung	Mischung 12, Rezeptur Nr. 7			Mischung 13, Rezeptur Nr. 16			
	Tübbing (Versuchs Nr.)			Tübbing (Versuch Nr.)			
	1	2	3	1	2	3	
Nachbehandlungsdauer (nach dem Ausschalen) Tage	0	1	7	0	1	7	
Mittelwerte der 28 Tage Bohrkerndruckfestigkeit							
	Oben N/mm ²	36	47	51	47	51	54
	Mitte N/mm ²	38	54	57	53	57	60
	Unten N/mm ²	46	56	61	58	59	64
Mittel N/mm ²	40	52	56	53	56	59	
Durchschnitt, wenn vers. Nr.3=100 %	71	93	100	90	95	100	

Tabelle 3. Einfluss der Nachbehandlung auf die 28-Tage-Druckfestigkeit im Tübbing

Kanalseite angewandt wurde. Sie erzeugt im jungen, warmen, dampferhärteten Beton eine ausgeglichene Feuchtigkeits- und Temperaturverteilung über den Querschnitt, wobei sich die Druckfestigkeit rasch voll entwickelt. Fehlt diese Nachbehandlung, verdunstet Wasser aus dem sich schnell abkühlenden jungen Beton, es entstehen Gefügestörungen und eine verminderte Druckfestigkeit.

Die Versuche am Bözbergtunnel zeigen, dass ohne Nachbehandlung ein Verlust an Betondruckfestigkeit bis zu 30%

beim Zement HPCHS und von 10% beim schneller erhärtenden HPC auftrat. Die Aufwendungen für die Tübbing-nachbehandlung mittels Abdeckung liegen beim Bözbergtunnel bei rund 6 Promille der gesamten Herstellungskosten der Tübbings, erbringen also einen grossen Nutzen bei kleinem Aufwand.

Adresse des Verfassers: Martin Brugger, Bauing. HTL, Gähler & Partner, Integrierte Bauplanung, Badstrasse 16, 5400 Ennetbaden.