

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 44

Artikel: Beton-Nachbehandlung: Einfluss der Behandlung auf die Qualität von dampferhärteten Betonelementen
Autor: Brugger, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-86037>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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,

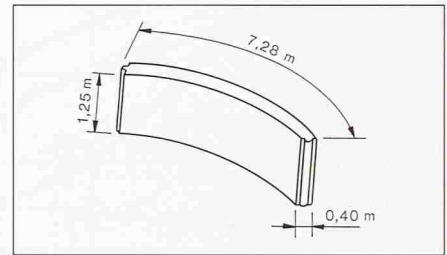


Bild 1. Abmessungen eines Tübbings

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

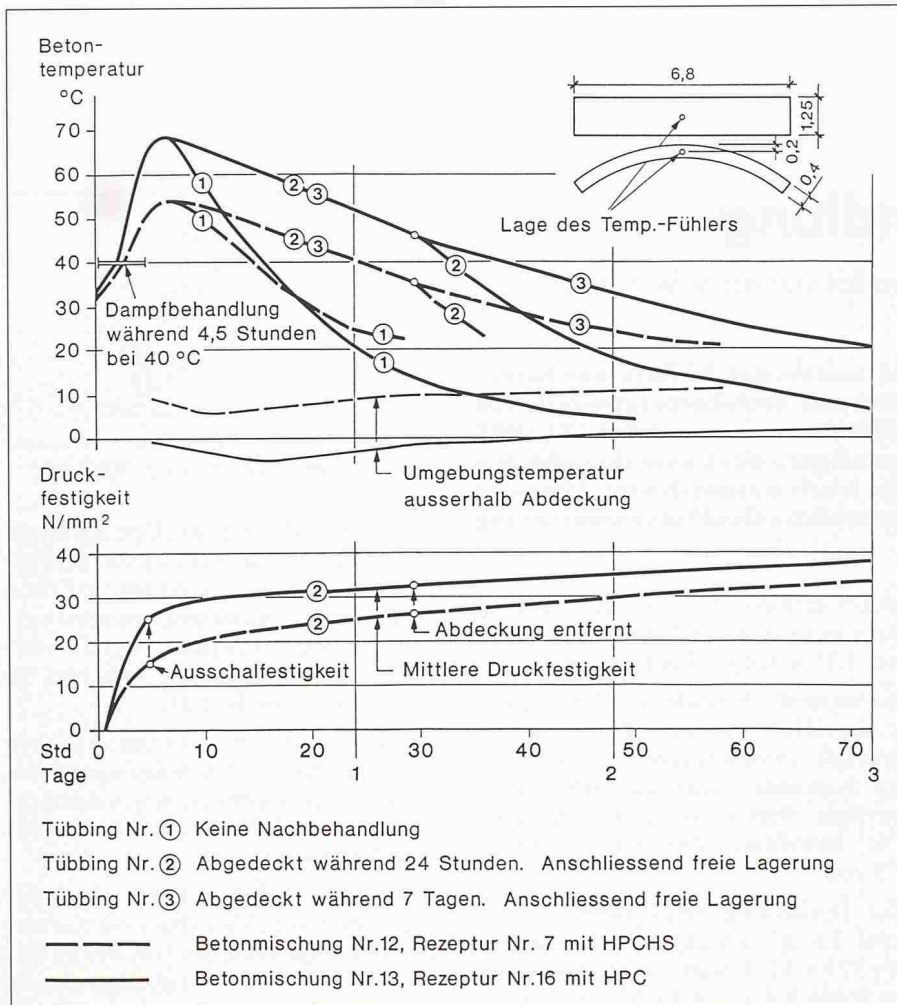


Bild 2. Betontemperatur und Druckfestigkeit in den dampferhärteten Versuchstübbings mit und ohne Nachbehandlung



Bild 3. Tübbingnachbehandlung auf dem Lagerplatz. Abdeckung ganzer Tübbinglagen während eines Tages.

tur Nr. 7) und mit HPC (Betonmischung Nr. 13, Rezeptur Nr. 16) Versuche mit je drei Tübbings durch, die jeweils die gleiche Betonzusammensetzung (siehe Tabelle 1) und die gleiche vorstehend beschriebene Fabrikationsmethode aufwiesen, aber drei verschiedenen Nachbehandlungen unterworfen wurden.

Die Nachbehandlung nach dem Ausschalen bestand bei

- Tübbing Nr. 1 im Verzicht auf eine Nachbehandlung.
- Tübbing Nr. 2 im Abdecken mit einer Blache während 24 Stunden,
- Tübbing Nr. 3 im Abdecken mit einer Blache während 7 Tagen.

Die Zement- und Betoneigenschaften sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Versuchsergebnisse

Während der Versuchsphase wurde neben der Frisch- und Festbetonprüfung (Tabelle 2) sowohl der Temperaturverlauf im Tübbing als auch in dessen Umgebung gemessen (Bild 2). Die Lufttemperatur unter der Abdeckung, das heisst zwischen Blache und Tübingaussenfläche, lag bei den Tübbings Nr. 2 und 3 um rund 10 °C tiefer als im Tübbingkern (Kurven 2 und 3). Die relative Luftfeuchtigkeit unter der Abdeckung betrug über 80%.

Die Auswirkung der Nachbehandlung wurde anhand der Betondruckfestigkeit im Bauteil und der mikroskopischen Gefügebeurteilung an Dünnschliffen beurteilt. Zu diesem Zweck wurden bei jedem der sechs Tübbings im Alter von 25–27 Tagen neun bis zwölf durchgehende, 40 cm lange Bohrkerne für die Bestimmung der 28-Tage-Druckfestigkeit und für die Gefügeuntersuchungen entnommen.

Die Nachbehandlung führt, wie die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, zu einer deutlichen Verbesserung der Druckfestigkeit, ganz besonders beim Zement Typ HPCHS, der nicht so schnell erhärtet wie HPC.

Die 28-Tage-Bohrkerndruckfestigkeiten (Durchschnittswerte über den Querschnitt) bei einer Nachbehandlung von einem Tag (mit HPCHS 52 N/mm² mit HPC 56 N/mm²) sind praktisch gleich gross wie die 28-Tage-Druckfestigkeiten der standardgelagerten Würfel ohne Dampfbehandlung (mit HPCHS 53 N/mm², mit HPC 56 N/mm²).

Die mikroskopischen Gefügeuntersuchungen an Dünnschliffen zeigen bei den Tübbings Nr. 1 (ohne Nachbehandlung) eine leicht bis mittel gestörte Gefügequalität. Bei diesen Untersuchungen war kein deutlicher Unterschied

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 (qw) sowie die Trockenrohddichte (Rd), die Kapillarwasseraufnahme (A5) und die Gesamtporosität (Av) bestimmt. Die Mittelwerte über den Querschnitt betragen: Rd = 2310 kg/m³ (Aussenseite 2296 kg/m³, Innenseite 2331 kg/m³); A5 = 10,4% und Av = 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 dampfbehandelten Würfeln bei Standard-Lagerung			
7 Tage	N/mm ²	44	50
28 Tage	N/mm ²	53	56

Tabelle 2. Zement- und Betoneigenschaften

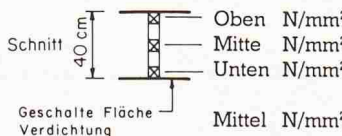
Untersuchung	Mischung 12, Rezeptur Nr. 7			Mischung 13, Rezeptur Nr. 16			
	Tübbing (Versuchs Nr.)			Tübbing (Versuch Nr.)			
	1	2	3	1	2	3	
Nachbehandlungsdauer (nach dem Ausschalen) Tage	0	1	7	0	1	7	
Mittelwerte der 28 Tage Bohrkerndruckfestigkeit							
	Oben N/mm ²	36	47	51	47	51	54
	Mitte N/mm ²	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 Tübbingnachbehandlung 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.