

## Autogenes Schwinden und adiabatische Wärmeentwicklung – zwei wichtige Parameter für hochbeanspruchte Betone von „Weißen Wannen“

DI Roland Murr, Rainer Draxl, DI Dr. Helmut Huber

Prüfstelle der MVA Strass, Pöyry Infra GmbH

### Einleitung

Bei „Wasserundurchlässigen Betonbauwerken – Weiße Wannen“ übernimmt der Beton neben der statischen auch die Abdichtungsfunktion gegen drückendes Wasser. Zur Vermeidung von wasserleitenden Rissen müssen Zwängungen als Folge der Hydratationswärmeentwicklung und des Schwindens bei Verformungsbehinderung möglichst gering gehalten werden. Die Anforderungen gemäß ÖVBB-Richtlinie WW (Tabelle 1) an Bindemittel, Frischbetontemperatur, Temperaturanstieg, max. Bauwerkstemperatur und Gesamtschwinden sind aufgrund jahrelanger Erfahrungen entstanden und haben sich gut bewährt.

Beim Bau eines Autobahntunnels in Irland mit hohen Anforderungen an Festigkeit (C40/50) und hoher Wasserdruckbelastung hat sich gezeigt, dass für den Beton mit 1 m dicken Wänden die vorgeschriebenen Labormethoden zur Beurteilung von Wärmeentwicklung und Schwinden nicht ausreichen.

### Adiabatische Wärmeentwicklung

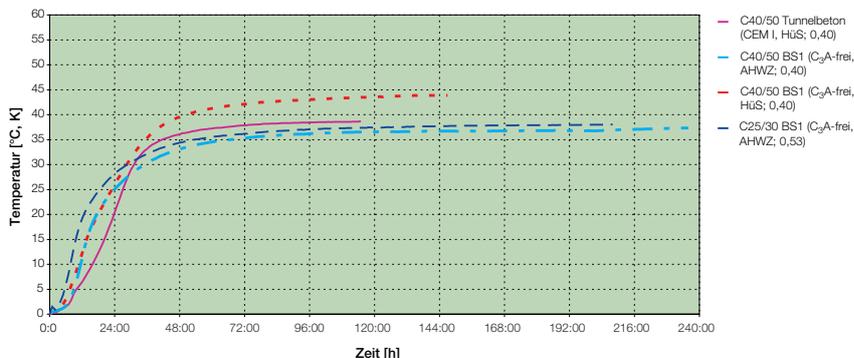
Zur Einhaltung der Festigkeits- und Dauerhaftigkeitsanforderungen wurde ein Beton mit 400 kg/m<sup>3</sup> Zement CEM III (25 % CEM I, 75 % aufbereiteter Hüttensand) mit einem Wasser/Bindemittelwert von 0,40 verwendet. Trotz der Verwendung des temperaturoptimierten Betons (Prüfung gemäß ÖN B 3303) wurden bauseits in den 1 m dicken Wänden bei 22 °C Einbautemperatur und moderaten Lufttemperaturen (16 °C) unerwartete 50 °C mit einem Temperaturanstieg von 28K gemessen. Die hohen Bauwerkstemperaturen sind weniger überraschend, wenn für die Beurteilung auch die adiabatische Temperaturentwicklung beachtet wird (Bild 1;  $\Delta T$ : 39K; absolut  $T_{max}$ : 62 °C).

Die Ursachen der unterschiedlichen Temperaturentwicklungen Normenversuch – Baustelle liegen in der wesentlich rascheren Reaktion des Hüttensandes im großen

Tabelle 1: Betonanforderungen (Auszug) gem. ÖVBB Richtlinie „Weiße Wannen“ in Gegenüberstellung zu ermittelten Parametern unterschiedlicher Betone

Kurzbezeichnung	Anforderungen gem. RL „Weiße Wannen“	C40/50 Tunnelboden	C40/50 BS1	C25/30 BS1A konventionell
Wasser/Bindemittel-Wert	max. 0,60	0,40	0,40	0,53
Bindemittel	–	CEM I gemahlener Hüttensand	CEM I C <sub>3</sub> A-frei gemahlener Hüttensand	CEM I C <sub>3</sub> A-frei AHWZ
Verhältnis CEM I zu AHWZ	–	25/75	50/50	80/20
Wirksamer Wassergehalt	165	160	165	165
Temperaturanstieg im Bindemittel	27 K	4 K	8K	16 K
Temperaturanstieg im Beton „dünne Bauteile“	13 K	10 K	10 K	12 K
Temperaturanstieg im Beton „dicke Bauteile“	17 K	15 K	17 K	19 K
Temperaturanstieg adiabatisch	–	39 K	44 K	38 K
Maximale Temperatur im Bauwerk	40 °C	50 °C	erwartet > 50 °C	40 K

Bild 1: Adiabatische Wärmeentwicklung unterschiedlicher Betone gem. Tabelle 1



Betonvolumen der 1 m dicken Wände. Eine labormäßige Erfassung kann durch adiabatische Versuche erfolgen. (Bild 2)

Auch eine Überprüfung der Wärmeentwicklung am großen Probekörper für dicke Bauteile führte nur zu durchwegs geringen Temperaturanstiegen von 15 K. (Bild 3)

Vergleichende Laborversuche mit österreichischen Bindemitteln (CEM I C<sub>3</sub>A frei und Hüttensand, bzw. AHWZ – Tabelle 1/ Betone 2, 3) zeigten ähnliche Ergebnisse.

### Autogenes Schwinden

Schwinden von Beton setzt sich zusammen aus dem Trocknungsschwinden und dem sogenannten „autogenen (inneren) Schwinden“.

Bei der Zementhydratation muss genügend Wasser für die chemischen Reaktionen und zur Füllung der dabei entstehenden Gelporen zur Verfügung stehen. Ist dies nicht der Fall, kommt es bei konservierter Lagerung ohne Wassernachschub von außen zu einer „Selbstaustrocknung“ der Poren. Diese kann, in Verbindung mit dem chemischen Schrumpfen bei der Zementhydratation, zu einer starken Volumenveränderung, dem „autogenen Schwinden“ führen. Da bei Hochleistungsbetonen aufgrund des geringen W/B-Wertes nur wenig Wasser für den Hydratationsprozess zur Verfügung steht, findet hier eine starke Selbstaustrocknung mit autogenem Schwinden statt.

Im Unterschied zum Trocknungsschwinden ist autogenes Schwinden mit keinem

Bild 2: Wärmeentwicklung Probekörper klein gem. ÖN B3303 (Beton gem. Tabelle 1)

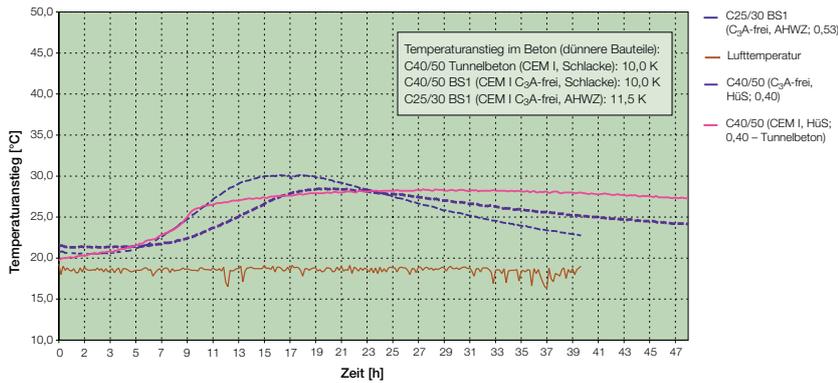


Bild 3: Wärmeentwicklung Probekörper groß gem. ÖN B3303 (Beton gem. Tabelle 1)

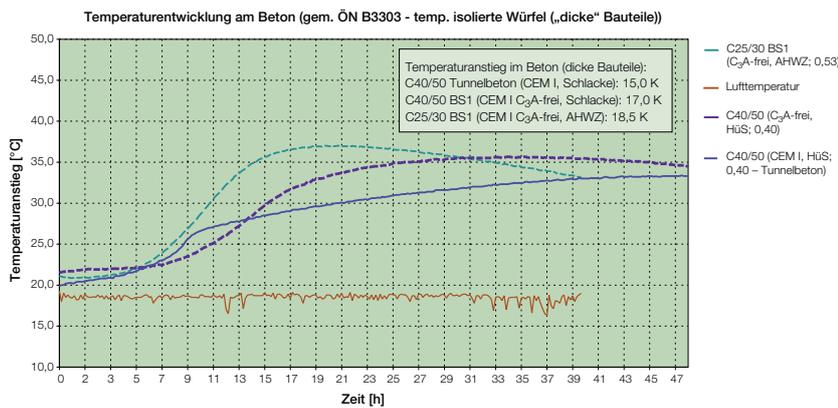
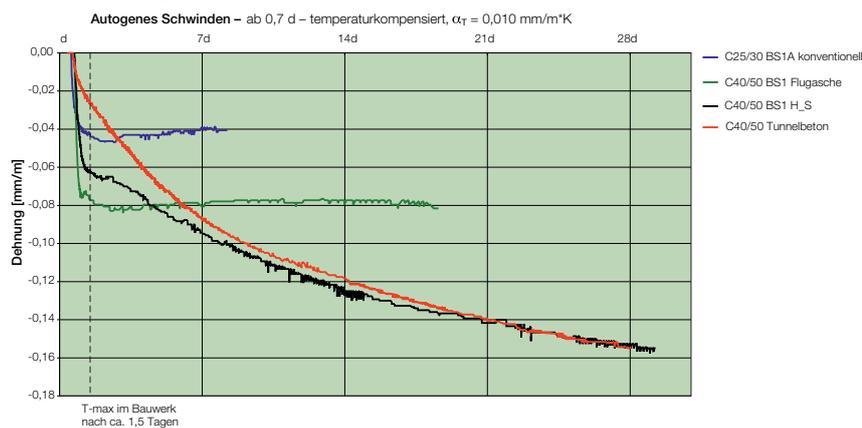


Bild 4: Autogenes Schwinden



Masseverlust verbunden und findet im gesamten Betonquerschnitt statt. Nach internationaler Literatur nimmt autogenes Schwinden bei abnehmendem W/B-Wert deutlich zu und kann bei HL-Betonen mit W/B-Werten von 0,35 nach 6 Tagen Werte von 0,10 bis 0,25 mm/m erreichen, was bei Zwängung der Wirkung einer Temperaturdifferenz von 10–25 °C entspricht. Bei W/B-Werten von 0,50 wird mit geringen Werten von 0,02 mm/m nach 6 Tagen gerechnet.

In nordeuropäischen Ländern wird das autogene Schwinden vor der Ausführung von Betonbauwerken mit hohen Festig-

keitsanforderungen gemessen, da verschiedene Zemente bzw. Bindemittel stark unterschiedliche Werte ergeben.

Für die Untersuchungen wurden jeweils 3 prismatische Probekörper mit 100 x 100 x 400 Millimeter hergestellt, die gegen Feuchtigkeitsverlust abgedichtet und im Klimaraum bei konstanter Temperatur gelagert wurden. Um einen Anteil aus Trocknungsschwinden auszuschließen, wurde die Gewichtskonstanz der Probekörper während der Prüfung kontrolliert.

Schwinden, Luft- und Probenkerntemperatur wurden während der vollständigen Test-Periode unter Verwendung von

induktiven Wegaufnehmern und Thermoelementen aufgezeichnet. Die Messungen wurden nach einem Anstieg der Betontemperatur infolge Hydratationswärme von +1 °C begonnen (Betonalter ca. 0,7 Tage, frühestmöglicher Messbeginn, Druckfestigkeit ca. 1,0 bis 1,5 N/mm<sup>2</sup>). Für die rechnerische Temperaturkompensation wurde ein thermischer Expansions-Koeffizient von  $\alpha_T = 0,010$  Millimeter/m<sup>3</sup>K angesetzt.

Die Versuche mit österreichischem Beton mit Zement CEM I C<sub>3</sub>A-frei, AHWZ und W/B = 0,40 (C40/50 BS1 Flugasche) sowie für Beton BS1A mit W/B = 0,53 (C 25/30 BS1A konventionell) zeigen am ersten Tag der Hydratation Werte von 0,04 bis 0,08 mm/m. Nach einem Tag war der Vorgang – wie auch in der Literatur angeführt – weitgehend abgeschlossen.

Wie bei der Temperaturentwicklung zeigte der C40/50 Tunnelbeton mit W/B 0,40 auch bei der Bestimmung des A.S. unerwartete Ergebnisse mit hohen Werten von 0,09 mm/m nach 7 Tagen und einem kontinuierlichen Anstieg bis 0,16 mm/m nach 28 Tagen. Der Vergleichsversuch mit Zement CEM I C<sub>3</sub>Afrei und Hütten sand mit W/B 0,40 (C40/50 BS1 HÜS) wies ein ähnliches Verhalten mit einem Wert von 0,095 mm/m nach 7 Tagen und weiterem kontinuierlichem Anstieg bis ebenfalls 0,16 mm/m nach 28 Tagen auf.

**Resümee**

Bei wasserundurchlässigen, massigen Bauwerken mit erhöhten Anforderungen an Festigkeit, Wasserdruck oder Dauerhaftigkeit, die starke Bauteildicken und hohe Bindemitteldosierungen bei niedrigen W/B-Werten erfordern, ist trotz günstiger Laborkennwerte mit hohen Bauwerkstemperaturen um 50 °C zu rechnen, die bei der Bemessung zu berücksichtigen sind. Die geforderten Labormessmethoden insbesondere hinsichtlich der Wärmeentwicklung und des Schwindens sind unter Umständen nicht ausreichend. Erweiterte Kenntnisse aus detaillierten Voruntersuchungen sollten beim Bauen mit wenig bekannten und nicht optimierten Bindemitteln vor Misserfolgen bewahren.