

# Stahlbetonverbundbrücke aus vorgefertigten Plattenelementen

Autor(en): **Hermann, Kurt / Badawy, Maher**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **69 (2001)**

Heft 6

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153872>

## **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.

# Stahlbetonverbundbrücke aus vorgefertigten Plattenelementen

Die Fahrbahnplatte der Talbrücke der A1 in Dättwil besteht unter anderem aus 61 Betonelementen. Bevor diese vorgefertigt werden konnten, waren umfangreiche betontechnologische Untersuchungen erforderlich.

Im Jahr 2000 wurde die neue dreispurige Talbrücke der A1 in Dättwil beim Bareggunnel (s. *Titelbild*) in lediglich acht Monaten gebaut. Dies war nur dank intensiver Planung und einer modernen Bauweise möglich [4]. Eine wichtige Komponente war die Vorfabrikation der 61 Betonelemente der Fahrbahnplatte, für die ausgedehnte Vorversuche erforderlich waren.

## Talbrücke der A1 in Dättwil [1]

Aus einem Variantenstudium mit zwölf verschiedenen Brückenkonstruktionen kamen zwei Lösungen für die Talbrücke in die engste Wahl:

- vorgespannte Stahlbetonbrücke mit Hohlkastenträger
- Stahlverbundbrücke mit Stahlfachwerkträger und Fahrbahnplatte aus vorgespanntem Beton.



**Abb. 1** In einem ersten Schritt wurden die vorgefertigten Betonelemente auf dem Stahlfachwerkträger abgelegt.

Foto: TFB

Schliesslich wurde die Stahlverbundvariante ausgewählt – nicht zuletzt wegen der kurzen Bauzeit von nur acht Monaten.

Der Brückenträger ist in sechs Felder eingeteilt: zwei je 25,6 m lange Rand- und vier je 38,4 m lange mittlere Felder. Die Widerlager wurden direkt im Fels fundiert, die runden Doppelstützen auf Bohrpfählen (Länge bis zu 25 m, Durchmesser 0,90 m) auf dem Fels.

### 400 t Stahl

Die 400 t schwere Stahlkonstruktion besteht aus insgesamt 1400 Teilen. Den Untergurt des dreieckigen Fachwerkträgers bildet ein Stahlrohr mit 500 mm Durchmesser. Die Durchmesser der beiden Stahlrohre des Obergurts betragen 300 mm und diejenigen der Streben 260 mm.

Die Rohrlängen und Rohrzuschnitte wurden aufgrund eines dreidimensionalen Computermodells bestimmt. Für den Rohrzuschnitt wurde eine computergesteuerte Brennschneidemaschine eingesetzt.

Die in 13 Schüsse aufgeteilte Stahlkonstruktion wurde in Aigle gefertigt. Die Verbindungen bestehen aus Ultraschall-geprüften Schweissnähten der Klasse QB.

Die Stahlbaumontage auf dem fertigen Unterbau dauerte 3 Wochen.

### Zu diesem Artikel

Am 14. März 2001 fand in Wildegg die TFB-Fachveranstaltung «Kostengünstig bauen dank innovativen Massivbaukonstruktionen» statt. Ein Schwerpunkt der Veranstaltung war mit «Spannbetonverbundbrücke aus vorgefertigten Plattenelementen am Beispiel der Brücke Dättwil, A1» überschrieben.

Es referierten:

- [1] H. Fehlmann (Baden) über «Projektierung/Ausführung und zugehörige Randbedingungen aus der Sicht des Bauherrn»
- [2] Maher Badawy (Wildegg) über «Optimierung des Schwindmasses in Abstimmung auf das Montage- und Vorspannprogramm»
- [3] Maher Badawy (Wildegg) über «Minimierung der Eigenspannungen für komplexe Elementquerschnitte mit analytischen Modellrechnungen».

Der vorliegende Artikel basiert grösstenteils auf diesen Referaten. Weitere Informationen stammen aus der Literatur (siehe Verzeichnis auf Seite 7).

Die einzelnen Schüsse wurden antransportiert, versetzt, gerichtet und anschliessend verschweisst.

### 2900 t Beton für 61 Elemente

Für die 61 Betonelemente der Fahrbahnplatte – wie auch für die Stahlkonstruktion – wurden sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Geometrie gestellt. Dies setzte ausgedehnte Voruntersuchungen voraus, über die ab Seite 4 berichtet wird.





Abb. 2 Mit dem grössten Raupenkran der Schweiz wird eine der 61 vorgefertigten Platten der neuen Talbrücke der A 1 in Dättwil versetzt. Diese sind 15,90 m lang, 3,20 m breit und an den dünnsten Stellen 0,25 m dick.

Foto: TFB

In jedes Element (siehe *Abbildung 2*) sind sechs Quervorspannkabel à 74 t Spannkraft sowie 22 Leerrohre für die Längsvorspannung integriert.

Die Schalung wurde aus Beton hergestellt. Darauf wurden pro Woche acht Elemente betoniert, und zwar im so genannten «Short line match cast»-Verfahren: Das neue Element wird direkt an das Vorgängerelement betoniert. Dadurch wird eine hohe Passgenauigkeit der Elementfugen erreicht.

Das erste Element der Fahrbahnplatte wurde mit Ortbeton erstellt. An-

schliessend wurden die 61 Elemente der Reihe nach antransportiert und auf der Stahlkonstruktion abgelegt. Danach wurden sie mit einem Epoxidharz verleimt.

Jedes Element wurde genau platziert und mit einer Hilfsvorspannung an die bereits versetzten Platten gedrückt. Die letzte Fahrbahnplatte wurde wieder in Ortbeton erstellt. Nach dem Einziehen und Spannen der Längskabel wurden die Betonplatten durch Schweißen mit dem Stahlfachwerk verbunden.

## Optimierung des Schwindmasses [2]

Im Rahmen von Voruntersuchungen sollten Betonrezepturen und Vorschläge für die Produktion und Lagerung der 61 vorgefertigten Betonelemente (*Abbildung 2*) ausgearbeitet werden. Dabei mussten unter anderem die folgenden Auflagen erfüllt werden:

- möglichst niedriges Restschwindmass nach dem Einbau der Elemente (Hauptanforderung)
- hohe Formbeständigkeit und Dauerhaftigkeit der Elemente
- Beton
  - B 45/35 frostbeständig
  - 330 kg Bindemittel/m<sup>3</sup>
  - W/B-Wert 0,45  
(B = Zement- + Zusatzstoffmasse)
  - Verdichtungsmass 1,08–1,14
  - möglichst helle Farbe.

### Laborversuche

Fünf Betonrezepturen wurden untersucht. Diese unterschieden sich vor allem im Bindemittel (*Tabelle 1*).

In *Tabelle 2* sind Frischbeton- und in *Tabelle 3* Festbeton-Eigenschaften dieser Mischungen zusammengefasst; in *Abbildung 3* sind die zeitli-

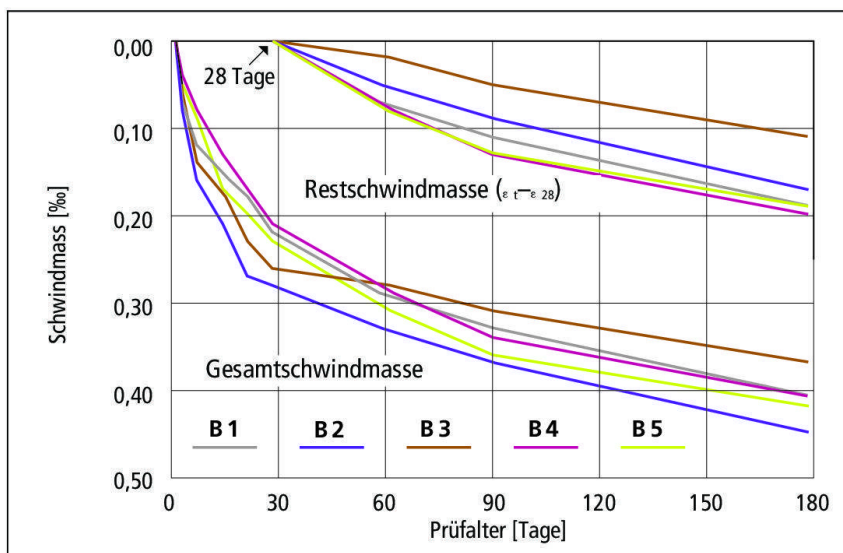


Abb. 3 Gesamt- und Restschwindmasse der Betone B1 bis B5 (nach [2]).

Zeichnungen: TFB

chen Veränderungen der Gesamt- und Restschwindmasse angegeben. Die Betone B 4 und B 5 wurden wegen den ungenügenden 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten ausgeschieden. Aufgrund der Restschwindmasse  $\epsilon_{\text{res}}_{28}$  (Abbildung 3) wären die Betone B 2 (0,17 ‰) und B 3 (0,11 ‰) zu favorisieren. Gegen B 3 sprachen jedoch die folgenden Gründe:

- Betone mit Silicastaub bluten nur wenig. Bei nicht sofort einsetzen der Nachbehandlung können deshalb schnell Risse (Frühschwindrisse) entstehen.
- CEM-I-Betone ohne Silicastaub sind heller als solche mit Silicastaub.

Da Betone mit Silicastaub empfindlicher auf Umwelteinflüsse reagieren können als solche ohne, wurden nur die Betone B 1 und B 2 in die weiteren Untersuchungen einbezogen. Dabei war man sich bewusst, dass B 2 wegen der schnellen Hydratation des CEM I 52,5 R möglicherweise Probleme durch thermische Spannungen verursachen könnte (siehe unten).

### Einflüsse auf das Restschwindmass der Betone B 1 und B 2

Die hier erwähnten Versuche wurden an Prismen (120 x 120 x 360 mm) oder an Betonwänden (500 x 500 x

	W/B-Wert <sup>1)</sup>	Bindemittel Bezeichnung	Dosierung	Zusatzmittel Bezeichnung	Dosierung
B 1	0,45	CEM I 42,5	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 M.-% <sup>2)</sup> 0,20 M.-% <sup>2)</sup>
B 2	0,45	CEM I 52,5 R	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 M.-% <sup>2)</sup> 0,20 M.-% <sup>2)</sup>
B 3	0,45	CEM I 42,5 Silicastaub	300 kg/m <sup>3</sup> 18 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,47 M.-% <sup>2)</sup> 0,19 M.-% <sup>2)</sup>
B 4	0,45	CEM I 42,5 Flugasche	280 kg/m <sup>3</sup> 50 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 M.-% <sup>2)</sup> 0,20 M.-% <sup>2)</sup>
B 5	0,45	CEM II/A-L 32,5 R	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 M.-% <sup>2)</sup> 0,20 M.-% <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> B = Zement- + Zusatzstoffmasse      <sup>2)</sup> Bezogen auf Bindemittelmasse.

Tab. 1 Zusammensetzungen der Betonmischungen [2].

	Bindemittel/m <sup>3</sup> Beton	W/B-Wert	VM	Rohdichte	LP-Gehalt	FS <sup>1)</sup>
B 1	330 kg CEM I 42,5	0,45	1,02	2405 kg/m <sup>3</sup>	3,2 Vol.-%	1,94
B 2	330 kg CEM I 52,5 R	0,45	1,07	2423 kg/m <sup>3</sup>	2,8 Vol.-%	1,90
B 3	300 kg CEM I 42,5 18 kg Silicastaub	0,45	1,10	2394 kg/m <sup>3</sup>	3,0 Vol.-%	1,95
B 4	300 kg CEM I 42,5 50 kg Flugasche	0,45	1,03	2438 kg/m <sup>3</sup>	1,7 Vol.-%	1,69
B 5	330 kg CEM II/A-L 32,5 R	0,45	1,03	2396 kg/m <sup>3</sup>	3,5 Vol.-%	1,94

<sup>1)</sup> Frostbeständigkeit nach Norm SIA 162/1, Prüfung 21 [1], berechnet für ein Betonalter von 60 Tagen; Werte > 1,50 bedeuten eine ausreichende Frostbeständigkeit.

Tab. 2 Frischbeton-Eigenschaften der untersuchten Mischungen [2].

	Bindemittel/m <sup>3</sup> Beton	Prüfalter	Rohdichte	Würfeldruckfestigkeit
B 1	330 kg CEM I 42,5	1 Tag	2391 kg/m <sup>3</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>
		3 Tage	2364 kg/m <sup>3</sup>	31 N/mm <sup>2</sup>
		28 Tage	2383 kg/m <sup>3</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>
B 2	330 kg CEM I 52,5 R	1 Tag	2406 kg/m <sup>3</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>
		3 Tage	2417 kg/m <sup>3</sup>	42 N/mm <sup>2</sup>
		28 Tage	2401 kg/m <sup>3</sup>	47 N/mm <sup>2</sup>
B 3	300 kg CEM I 42,5 18 kg Silicastaub	1 Tag	2417 kg/m <sup>3</sup>	23 N/mm <sup>2</sup>
		3 Tage	2398 kg/m <sup>3</sup>	34 N/mm <sup>2</sup>
		28 Tage	2405 kg/m <sup>3</sup>	48 N/mm <sup>2</sup>
B 4	300 kg CEM I 42,5 50 kg Flugasche	1 Tag	2398 kg/m <sup>3</sup>	17 N/mm <sup>2</sup>
		3 Tage	2378 kg/m <sup>3</sup>	28 N/mm <sup>2</sup>
		28 Tage	2390 kg/m <sup>3</sup>	43 N/mm <sup>2</sup>
B 5	330 kg CEM II/A-L 32,5 R	1 Tag	2407 kg/m <sup>3</sup>	21 N/mm <sup>2</sup>
		3 Tage	2377 kg/m <sup>3</sup>	31 N/mm <sup>2</sup>
		28 Tage	2367 kg/m <sup>3</sup>	38 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 3 Rohdichten und Würfeldruckfestigkeiten der untersuchten Betone [2].

250 mm) durchgeführt. Nach Norm SIA 162 [5] beträgt bei diesen Probekörpern die Bauteildicke  $t_{\text{ef}}$  60 mm bzw. 167 mm ( $t_{\text{ef}} = 2 A/U$ , wobei  $A$  = Querschnittsfläche und  $U$  = der Austrocknung ausgesetzter Umfang).

Ein Brückenelement (15900 x 3200 x ca. 40 mm; siehe Abbildung 2) hat eine Bauteildicke  $t_{\text{ef}}$  von rund 390 mm. Die wesentlichen Resultate bezüglich des Schwindens der Prismen und Wände lassen sich wie folgt zusammenfassen:



- Das Restschwindmass ist umso niedriger, je grösser die Bauteildicke  $t_{ef}$  ist.
- Das Restschwindmass von B 2 erhöht sich bei einer feuchten Nachbehandlung während zwei Tagen leicht.
- Bei der Simulation von Lagerbedingungen im Freien durch intervallmässiges Besprühen mit Wasser wurde das Restschwindmass erhöht; die Elemente sollten also in möglichst trockener Umgebung gelagert werden.

Alle Berechnungen liessen geringe Unterschiede in den Restschwindmassen von B 1 und B 2 erwarten. Schliesslich wurde B 2 ausgewählt, dessen schnelle Festigkeitsentwicklung in den ersten Tagen günstiger als diejenige von B 1 ist.

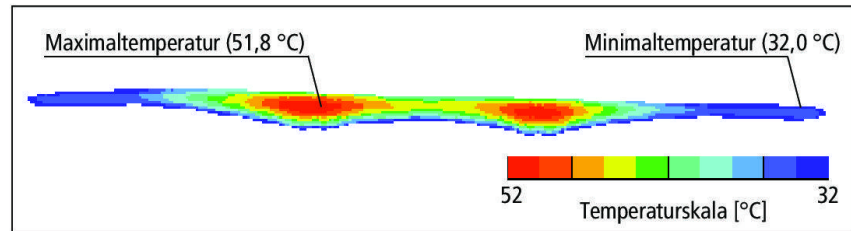


Abb. 5 Berechnete Temperaturverteilung in einem Betonelement, 18 Std. nach dem Betonieren (Temperaturmaximum mit Ausgangsparametern). Bild: ESM, Saint-Sulpice [6]

## Minimierung der Eigenspannungen [3]

Bei der Hydratation von Zementen wird Wärme freigesetzt. Die maximal erreichbare Betontemperatur wird dabei unter anderem durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Zementart
- Querschnittabmessungen
- Frischbeton- und Lufttemperatur
- Schalungseigenschaften.

Die Temperaturunterschiede zwischen den Kern- und den Randzonen eines Betons können beträchtlich sein. Der Kernbeton steht während der Erwärmung unter Druck- und während der Abkühlung unter Zug-

spannungen. Die Grösse dieser Spannungen hängt davon ab, wie gross der Temperaturunterschied ist und wie frei sich das Bauteil verformen kann (Abbildung 4). Wenn die Zugspannung etwa 65% der jeweiligen Zugfestigkeit eines Betons erreicht, können Risse entstehen [6].

Die Temperaturentwicklung in den Elementen für die Talbrücke Dättwil der A 1 ist sehr kompliziert. Sie wurde mittels einer Software näher untersucht, die auf finiten Elementen aufbaut [6]. Neben der Hydratationswärme-Entwicklung wurden auch das chemische Schwinden sowie die Druck- und Zugfestigkeitsentwicklung simuliert.

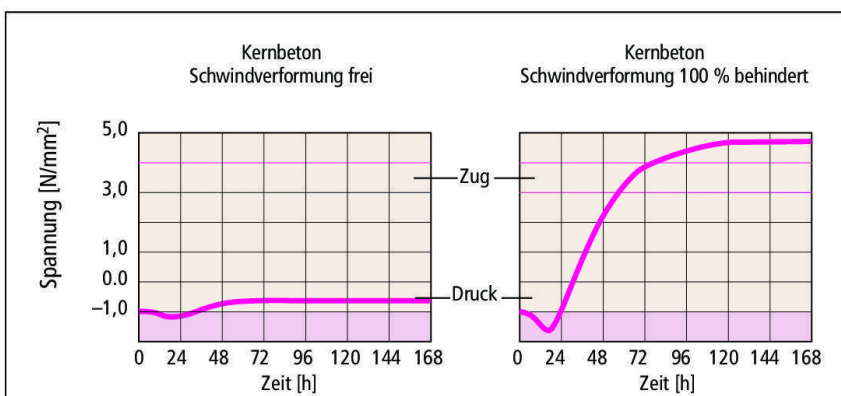


Abb. 4 Zeitliche Entwicklung der Spannung im Kern einer 400 mm dicken Betonplatte: Während der Erwärmung in den ersten Stunden treten Druck-, während der Abkühlung Zugspannungen auf (nach [2]). Bild: ESM, Saint-Sulpice [6]

In den Berechnung wurden – basierend auf den Vorversuchen mit B 2 – die folgenden Werte verwendet:

- Druckfestigkeit: 30 N/mm<sup>2</sup> nach 33 Std. und 40 N/mm<sup>2</sup> nach 76 Std.
  - Zugfestigkeit: 2,5 N/mm<sup>2</sup> nach 33 Std. und 3,5 N/mm<sup>2</sup> nach 76 Std.
- Für die Grundanalyse wurden weitere Annahmen gemacht:
- Umgebungstemperatur (15 ± 3) °C
  - Frischbetontemperatur 20 °C
  - Oberseite vollständig mit Kunststoff-Folien bedeckt

- Ausschalen nach 24 Std.
- Lagerung der ausgeschalteten Elemente an Luft.

Das Resultat einer ersten Berechnung ist in *Abbildung 5* dargestellt. Vorausgesagt wird, dass die maximale Betontemperatur 18 Stunden nach dem Betonieren auftritt, und zwar im Kern des dicksten Elementbereichs. Die Minimaltemperaturen werden in den Flanken der Elemente erwartet.

Die Temperaturunterschiede bewirken Spannungen, nämlich eine maximale Zugspannung von etwa  $2,3 \text{ N/mm}^2$  in den beiden dicksten Bereichen sowie eine maximale Druckspannung von  $3,9 \text{ N/mm}^2$  an den Flügeln der Betonelemente. Durch die Variation der Temperatur-

## LITERATUR

Neben den Angaben der Referenten der TFB-Fachveranstaltung wurden die folgenden Publikationen verwendet oder zitiert:

- [4] «Baregg-Info 4 spezial», herausgegeben vom Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau, 5001 Aarau.
- [5] Norm SIA 162: «Betonbauten» (Ausgabe 1993).
- [6] «Neue Talbrücke der N1 in Dättwil: Thermo-Mechanical Analyses of Precast Segments», Bericht Nr. 8745-RA001, ESM (Saint-Sulpice).

vorgaben für die Luft und den Frischbeton konnte gezeigt werden, dass die Frischbetontemperatur einen stärkeren Einfluss auf die Grösse der Zugspannungen hat als die Lufttemperatur.

Wenn in den dicksten Bereichen der Betonplatten je 4 Kühlrohre eingelegt würden, liessen sich – so die Berechnungen – die Betontemperaturen und die maximal auftretenden Zugspannungen reduzieren. Weit weniger aufwändig und doch nützlich ist aufgrund von Berechnungen das Abdecken der Flügel mit Isoliermatten.

Basierend auf diesen und weiteren Berechnungen wurden unter anderem die folgenden Empfehlungen abgegeben [6]:

- äussere 4,0 m der Flügel der Fahrbahnelemente nach dem Betonieren mit mindestens 20 mm dicken Isoliermatten, restliche 7,9 m mit Kunststoff-Folie abdecken (Verminderung der maximal auftretenden Zugspannung um rund  $0,3 \text{ N/mm}^2$ )
- Ausschalen: frühestens 26 Std. nach dem Betonieren
- Elemente nach dem Ausschalen mit rund  $30 \text{ °C}$  warmem Wasser benetzen und 3–4 Tage mit Kunststoff-Folie abdecken.

Weitere Empfehlungen betrafen die Frischbetontemperatur (z.B. nicht höher als  $22 \text{ °C}$  bei einer mittleren Tagestemperatur von  $15 \text{ °C}$ ).

### Geringes Rissrisiko

Berechnungen und Messungen am Beton der vorfabrizierten Elementen ergaben Biegezugfestigkeiten um  $6 \text{ N/mm}^2$  (entspricht Zugfestigkeiten von rund  $3 \text{ N/mm}^2$ ) nach einem Tag. Die maximalen Zugspannungen traten nach sechs Tagen auf. Sie erreichten rund  $2,5 \text{ N/mm}^2$ . Zu diesem Zeitpunkt betrug die Zugfestigkeit des Betons bereits rund  $5 \text{ N/mm}^2$ .

Mögliche Bedenken gegen die Verwendung von CEM I 52,5 R (schnellere Hydratation als CEM I 42,5) erwiesen sich als unbegründet: Wegen der schnellen Hydratation von Betonen mit CEM I 52,5 R waren die Zugfestigkeiten jederzeit derart gross, dass die Zugspannungen aufgenommen werden konnten.

*Maher Badawy und Kurt Hermann,*  
TFB

### Schlüsselwörter

Betonelemente, Hydratationswärme, Schwinden, Stahlverbundbrücke, thermische Spannungen, Vorfabrikation, Zugfestigkeit