

Ing. Klaus Vennemann

Referatsleiter
Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 18B, Straßeninfrastruktur Bau
Ref. Brückenbau



Vorbereitung der Fertigteile zur Ergänzung des Tragwerkes mit Leichtbeton-Ortbeton

alle Fotos: © Amt der Stmk. Landesregierung FA 18B

Die Belastung von 7.500 Fahrzeugen pro Tag und das beachtliche Alter von ca. 70 Jahren waren Grund für eine Neuplanung des Objektes „Rabnitzbachbrücke“ im Verlauf der B 65 zwischen Gleisdorf und Graz. Die Tatsache, dass im Frühjahr 2007 die Betondecke der A 2 Südautobahn generalsaniert werden muss und die Ausweichroute für den Schwerverkehr über 80 t über die Brücke führt, hat die FA 18B veranlasst, die Realisierung des Bauvorhabens zu beschleunigen. Als Bauzeit hat sich der Zeitraum November bis März ergeben. Damit war der Betreiber gezwungen, besondere Maßnahmen in Hinblick auf eine kurze und vor allem winterliche Bauphase in Betracht zu ziehen.

Die Mitarbeit im Normenausschuss FNUA 10a und im Speziellen der ÖNORM B 4710-2 „Leichtbeton“ hat den Auftraggeber bewogen, diese Norm in der Praxis zu erproben. Darüber hinaus ergab sich die Möglichkeit, eine für den Winter speziell geeignete Isolierung zu testen. Beide Verfahren werden von internen und externen Fachleuten und der TU Graz wissenschaftlich begleitet und vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung aus Mitteln der Forschung unterstützt.

Auf Grund der kurzen Bauzeit, der Notwendigkeit einer Tiefgründung und der Arbeitsunterbrechung zum Jahreswechsel hat man

sich für vorgespannte Fertigteilträger mit Aufbeton entschieden. Durch die Vorgabe, das Tragwerk mit Leichtbeton herzustellen, können die Beteiligten die künftige ÖNORM B 4710-2 in der Praxis zu erproben und die Erkenntnisse vor der Erscheinung der Norm einarbeiten. Neben der betontechnologischen Erfahrung hat die Verwendung von Leichtbeton auch einen wirtschaftlichen Vorteil. Das geringere Gewicht wirkt sich bei den Transportkosten aus. Ferner kann für das Einheben der ca. 19 m langen Fertigteilteile ein leichteres Hebegerät verwendet werden. Ein weiterer maßgeblicher Vorteil bei den schlechten Untergrundverhältnissen ist die geringere Belastung der Unterstellung im Widerlagerbereich. Bei der Anwendung von Lehrgerüsten können diese in wesentlich leichter Konstruktion hergestellt werden und bringen dadurch auch eine finanzielle Reduzierung der Kosten. Das reduzierte Gewicht des Transportbetons mittels Fahrmischer ist ferner ein Beitrag für eine geringere Belastung der benützten Straßenzüge.

Das bei diesem Bauvorhaben gewählte System für die Brückenisolierung ermöglicht ein Aufbringen auf Beton mit einer Restfeuchtigkeit bis zu 8 % und bei Temperaturen bis zu minus 15° C. Diese Isolierung wird in den nördlichen Ländern wie Schweden, Finnland etc. bereits seit Jahren mit großem Erfolg angewendet.

1 Planung und Statik

Der Grund für die Wahl der Fertigteilvariante mit Leichtbeton lag darin, mit der Gewichtsreduktion von ca. 30 % und der Erfordernis einer werkseitigen Fertigung und deren erforderlichen Vorspannung in der Winterperiode eine wirtschaftliche und qualitativ hochwertige Lösung zu finden.

Für die Beherrschung der ungünstigen Begleiterscheinung mit der erheblichen Abminderung des Rechenwertes für den E-Modul wurde die Betongüte LC40/44 D 1,6 gewählt und eine Vorspannung mit nachträglichem Verbund vorgesehen.

Die Fertigteilträger wurden im Fertigteilwerk vorgespannt und verpresst. Mit dieser Konstruktionsart wurde das fachgerechte Verpressen der Vorspannkabel in der kalten Jahreszeit ermöglicht. Für das einfeldrige und statisch bestimmte Tragsystem war es mit einer Leichtbeton-Ortbetoneingängung möglich, auf eine Hilfsunterstellung im Feld zu verzichten.

Mit der Wahl der hohen Betongüte von LC40/44 wird zusätzlich zu den o. a. Vorteilen auch die für den Leichtbeton erhöhte Karbonatisierungsgeschwindigkeit verringert und damit die Dauerhaftigkeit erhöht. Die Betongüte LC40/44 D 1,6 wird schwindreduziert für die Ortbetoneingängung gewählt



Vorgespannte Fertigteile

Die Abmessungen des Bauwerkes sind:

- LW: 19,00 m
- STW: 19,75 m
- LH: 4,00 m
- Konstruktionshöhe: 1,50 m
- Fahrbahnaufbau: 1 cm Isolierung, 8 cm BT HS 22 LK-S, 3 cm pm AB 11 LK-S
- Fahrbahnbreite: 8,00 m Dachprofil
- Randbalkenbreite: 0,75 bzw. 1,50 m
- Kreuzungswinkel: 100°
- Längsgefälle: 0,362 %
- Bemessung: Brückenklasse I sowie 200 t Schwerlastfahrzeug
- Aufhaltestufe: H2
- Gründung: Bohrpfähle DM 90 cm

und zeigte sich einerseits für die Ableitung der Schubkräfte (Querkraft und Schubfuge) sowie auch für die Einleitung der Vorspann- und Auflagerkräfte als gute Wahl.

Der geringere Temperaturkoeffizient für Leichtbeton wirkt sich günstig auf die Verschiebungswege aus.

Für die Bemessung ist der Lastfall lt. RVS 15.114 mit dem 200 t SFZ maßgebend.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchsfähigkeit wurden

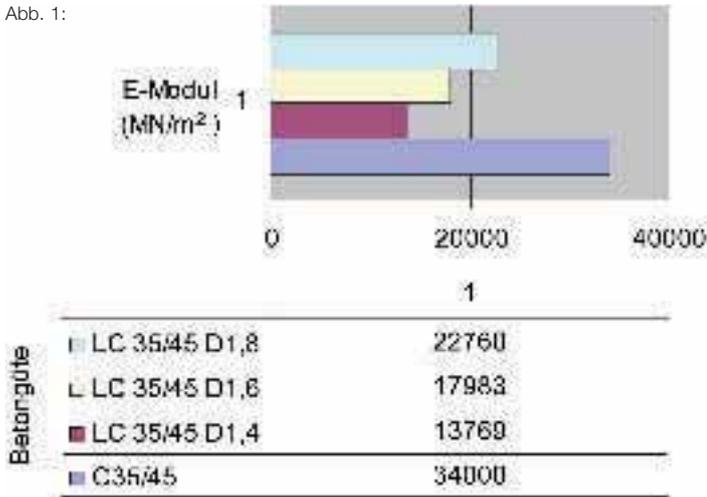
Spannverfahren:

- Interne Vorspannung mit nachträglichem Verbund
- Spannglied Typ BBV L12 (mit 11 Litzen)
- Stahlgüte: St 1570/1770
- $A_p = 165 \text{ mm}^2$ (11 Litzen à 150 mm^2)
- Hüllrohre aus gewelltem Stahlblech: $d_i/d_a = 75/82 \text{ mm}$
- $P_{m0,max} = 0,80 \times f_{p0,1k} \times A_p = 1.980 \text{ KN}$
- Anforderungsklasse C (Rissweite von 0,15 mm für Endzustand)
- (vgl. Tabelle 1 + Abb. 1)

Tabelle 1:

Vergleich Leichtbeton – Normalbeton nach EN 1992-1-1:2004(D)		
	Normalbeton C 35/45	Leichtbeton LC 40/44 D1,6 Ermittlung über Abminderungsfaktoren aus den Werten Normalbeton
Bemessungsdichte mit Bewehrung γ	= 2.500 kg/m ³	$\gamma = 1.750 \text{ kg/m}^3$ Rohdichtebereich >1.400 und < 1.800 kg/m ³
Charakteristische Dauerstandsfestigkeit	$f_{ck,cube} = 35 \text{ MN/m}^2$	$f_{lck,cyl} = 40 \text{ MN/m}^2$
Charakteristische Würfdruckfestigkeit	$f_{ck,cube} = 45 \text{ MN/m}^2$	$f_{lck,cube} = 44 \text{ MN/m}^2$
Mittlere Betonzugfestigkeit	$f_{ctm} = 3,2 \text{ MN/m}^2$	$f_{lctm} = \eta_1 \times 0,3 \times (f_{lck}^2)^{1/3} = 0,836 \times 0,3 \times 11,69 = 2,93 \text{ MN/m}^2$ (-8%)
E-Modul	$E_{cm} = 34.000 \text{ MN/m}^2$	$\rho = 1.600 \text{ KN/m}^3 > \eta_1 = 0,5289$ $E_{lcm} = 17.983 \text{ MN/m}^2$ (ca. -44%)
Kriechzahl	$\chi_{c, t^\infty} = 2,2$	$\chi_{lc} = 1,0 \times \chi_c$

Abb. 1:



Spritzisolierung

mit den entsprechenden Festigkeits- und Formänderungswerten für den Leichtbeton nach der Ö-Norm B 4750 geführt. Für den Leichtbeton darf für die Kriechzahl der Wert von Normalbeton angenommen werden. Die Kriechdehnungen sind vergleichbar mit jenen von Normalbeton mit der gleichen Festigkeit.

Für das gewählte Trägersystem mit 6 Trägern und der statisch bestimmten Lagerung treten zeitabhängige Umlagerungen (Schwinden und Kriechen) in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbetoneingießung auf. Die Fuge wurde entsprechend bemessen und mit einer kreuzenden vertikalen Anschlussbewehrung aus dem Fertigteil verdübelt.

Der größeren Sprödigkeit (steiler Abfall nach der Maximalspannung) des Leichtbetons wurde mit einer an dieses Lastniveau angepassten Konstruktion (Trägeranzahl, Konstruktionshöhe) und in der Bemessung mit der Abminderung des Plateauwertes der Arbeitslinie entsprochen (geringere Völligkeit). Für die Lasteinleitung der Vorspannkraft wurden die Stege bei den Auflagern verbreitert. Die Schubtragfähigkeit des Leichtbetons liegt erheblich unter der des Normalbetons. Mithilfe der Vorspannung ergibt sich auch für die Sicherung der erforderlichen Querkrafttragfähigkeit eine wirtschaftliche Lösung.

Für die Bewehrungsführung waren die Verankerungslängen aufgrund der niedrigeren Verbundfestigkeiten gegenüber dem Normalbeton zu vergrößern, diese erhöhte aber im speziellen Fall nur unwesentlich den Stahlbedarf.

2 Betontechnologie sowie Herstellung und Einbau

Aufgabenstellung

Seitens der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 18B, wurde die Betontechnik GmbH mit der betontechnologischen Begleitung des Bauvorhabens BV B065 Rabnitzbachbrücke beauftragt. Der Umfang dieses Auftrages reichte von der Entwicklung der Leichtbetonrezepturen bis hin zur Überwachung der Bauausführung (Konformitätsprüfungen).

Voruntersuchung

Die Entwicklung der Leichtbetonrezepturen gliederte sich in 2 Schwerpunkte – erstens eine Rezeptur für die Fertigteilträger und zweitens die Rezeptur für den nachfolgenden Aufbeton. Bei beiden Rezepturen wurde die Festigkeitsklasse LC 40/44 durch den Planer vorgegeben. Die Zielrohddichte wurde mit D 1,8, d. h. 1.800 kg/m³ definiert. Ergänzend wurden noch die Klasse B5

sowie für den Aufbeton die Abreißfestigkeitsklasse A 1,5 und ein reduziertes Schwinden (RS) gefordert. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, wurde der Leichtbeton mit der neuen Leichtgesteinskörnung Kandstone konzipiert. Hierbei handelt es sich um eine zementgebundene, patentierte Leichtgesteinskörnung, die es erlaubt, Leichtbetone mit hohen Festigkeitsanforderungen herzustellen.

Die Voruntersuchungen wurden mit den genannten Eckdaten im Zentrallabor der Fa. Betontechnik in Langenwang durchgeführt. Ziel der Voruntersuchung war neben der Einhaltung aller betontechnologischen Anforderungen auch die gute Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit. Diese konnte durch eine stabile Rezeptur, welche sich durch eine gute Konsistenzhaltung darstellt, erreicht werden.

Erstprüfung

Die Erstprüfung wurde unter Einhaltung der entsprechenden Vorhaltemaße ebenfalls in Langenwang durchgeführt. Bemerkenswert ist hierbei die hohe Festigkeitsanforderung in der Erstprüfung mit 50 N/mm² für einen Leichtbeton. Sehr großes Augenmerk wurde auf das Luftporensystem gelegt, da die Leichtgesteinskörnung Kandstone ebenfalls Luftporen beinhalten kann, welche eventuell das Ergebnis der Luftporenbe-

Tabelle 2:

Zement	CEM II 42,5 R	470 kg/m ³
Natursand	RK 0/4	350 kg/m ³
Kandstone	0 – 16	930 kg/m ³
Zusatzmittel	Duriment SF Advanced	1,5 %



Spritzisolierung



Vorgespannte Fertigteile

stimmung am Festbeton verfälschen könnten. Deshalb wurden die Ergebnisse am Frischbeton mit jenen der Luftporenzählung verglichen und verifiziert. Es zeigte sich, dass sich der Einfluss der Leichtgesteinskörnung mit ca. 2 Vol.-% bemerkbar macht, d. h. die Luftporengehalte am Frischbeton müssen um 2 % höher angesetzt werden. Eine vergleichbare Situation ergab sich beim wirksamen Wassergehalt, da die Leichtgesteinskörnung hydraulisch gebunden ist und dementsprechend auch einen messbaren Einfluss bei der Wassergehaltbestimmung hat. Zudem ist auch eine Wasseraufnahme der Leichtgesteinskörnung zu beobachten. Diese Einflüsse müssen natürlich im Beton dementsprechend berücksichtigt werden, um den tatsächlichen (wirksamen) Wassergehalt ermitteln zu können. Ergänzend wurde auch der E-Modul des Leichtbetons ermittelt, dieser kann mit durchschnittlich ca. 15.500 N/mm² angegeben werden. Zur Beurteilung der Verarbeitungs- und Pumpeigenschaften wurden auch Großversuche über eine Mischanlage gefahren und mit diesem Beton Pumpversuche mit 2 verschiedenen Betonpumpen durchgeführt. Die Sichtbetoneigenschaften der dabei betonierten Muster-Fertigteile erfüllten dabei auch die höchsten Ansprüche. Auf Basis der Erkenntnisse wurde das Betonrezept für die Fertigteilträger wie folgt festgelegt (vgl. Tabelle 2).

Konformitätsprüfung

Im Zuge der Herstellung der Fertigteilträger wurde an allen 6 Trägern eine begleitende Konformitätskontrolle durchgeführt, welche auch eine Messung der Bauwerkstemperatur beinhaltet hat. Beim ersten sowie beim vierten Träger wurden zudem alle Festbetonkennwerte ermittelt. Wichtig für die Fertigteilträger war auch die Festigkeitsentwicklung des Leichtbetons, um den Zeitpunkt des Abhebens festlegen zu können – das Abheben der Träger erfolgte bei 80 % der 28-Tage-Druckfestigkeit, welche nach 4 Tagen zielsicher erreicht wurde.

Betonherstellung und Lieferung

Der Beton für die Fertigteilträger, sowie für den Aufbeton wurde im Transportbetonwerk der Fa. Karl Schwarzl BetriebsgesmbH in Unterpremstätten hergestellt. Die Einhaltung der für die Herstellung von Transportleichtbeton allgemein gültigen Praxisregeln war auch bei der Verwendung von Kandstone als Leichtzuschlagstoff unabdingbar. Im Besonderen waren ein geänderter Mischablauf durch das Vormischen der Zuschlagstoffe mit Wasser vor der Zementbeigabe und eine wesentlich längere Mischzeit für das Erreichen der Verarbeitungseigenschaften notwendig. Für die Betonierung der Fertigteile im Werk der Fa. Kölbl in

Pirka wurde der Beton mit 2 Fahrmischern angeliefert, wobei der Einbau in der Regel innerhalb von 60 – 70 Minuten nach Wasserzugabe beendet war.

Beim Aufbeton, nach dem Versetzen der Fertigteile, war das Hauptaugenmerk auf die Konsistenzhaltung bzw. die Verarbeitungsdauer gerichtet, da bereits die Anfahrtszeit zur Baustelle ca. 40 Minuten betragen hat. Die Einbringung des Aufbetons erfolgte mittels einer Fahrmischer-Kolbenpumpe, wobei die Konsistenz für eine gute Pumpbarkeit essenziell war.

Im Gegensatz zum Normalbeton benötigt dieser Leichtbeton eine Konsistenz von F59, um gut pumpbar zu sein. Die geforderte Querneigung des Tragwerks war damit wegen des geringeren Eigengewichtes des Leichtbetons trotzdem ohne Probleme zu erzielen.

Das für den Transport, die Probenentnahme, die Förderung und den Einbau des Betons notwendige Zeitfenster war mit bis zu 120 Minuten nach Wasserzugabe ausreichend bemessen. Die Nachbehandlung der Betonoberfläche erfolgte durch 2-maliges Besprühen mit einem leistungsfähigen Verdunstungsschutz.