

Helmut Huber, Walter Lukas, Walter Obersamer

Faserverstärkte Hochleistungsbetone für Brückenrandleisten und Fahrbahndecken

Forschungsvorhaben: Straßenforschung

BR DI Dr. Helmut Huber, Univ.-Prof. Dr. Walter Lukas, Ing. Walter Obersamer

Randleisten sind Bauteile von Brückentragwerken, auf die aus herkömmlicher statischer Sicht keine wesentlichen Belastungen einwirken. Im Gegensatz zu anderen Bauwerken werden diese aber sehr starken Umwelteinflüssen ausgesetzt; insbesondere Frost-Tausalz-Beanspruchung und dynamischen Stoßbelastungen.

1. Stand der Untersuchungen

Hochleistungsbetone ohne Fasern wurden in den letzten Jahren auch in Österreich für einige Brückentragwerke ohne zusätzliche Abdichtung verwendet. In einem Forschungsvorhaben sollte geklärt werden, ob faserverstärkter Hochleistungsbeton so entwickelt werden kann, dass die an die Konstruktionen gestellten Anforderungen (Brückenrandleisten und Fahrbahndecken) voll erfüllt werden können. In der ersten Phase wurden lediglich jene Parameter betrachtet, die für die Herstellung von Brückenrandleisten wesentlich sind. Auf Grund der sehr hohen Anforderungen an diese Brückenrandleisten, wird von Faser-Hochleistungsbetonen bzw. aus der Konstruktion folgendes erwartet:

- möglichst problemlose Verarbeitbarkeit des Frischbetons
- hohe Biegezugfestigkeiten, mittleres Nachrissverhalten
- Wegfall der konstruktiven Bewehrung (Herstellung, Korrosion)
- hoher Diffusionswiderstand
- hoher Widerstand gegen Frostausalzangriff
- hohe Korrosionsbeständigkeit der Fasern
- hohe Verschleißfestigkeit
- hoher Widerstand gegen schockartige Biegebeanspruchung
- hoher Ausreißwiderstand für eingebaute Dübel
- hoher Haftverbund mit Altbeton (für den Einsatz als Brückenverstärkung)
- Entfall an den Fugen durch die bisher verwendeten Granitbordsteine

Die Untersuchungen zur Optimierung des Faser-Hochleistungsbetons wurden mit

Tabelle 1: Ausgangsmischung für Faser-Hochleistungsbeton

| | | |
|---|------|---|
| Gesteinskörnung 0/4 | 70 % | 1820–1840 kg/m ³ |
| 8/16 HG | 30 % | |
| Zement CEM I 32,5 oder 42,5/C ₃ A frei | | 450 kg/m ³ |
| Silicastaub (fest) | | 22,3 kg/m ³ (5 % v. Z.) |
| Gesamtwassermenge | | ≤ 185 l/m ³ |
| W/B-Wert | | ≤ 0,38 |
| BV, FM, LP | | Zur Einhaltung der Verarbeitbarkeit und LP-Gehalt (2,5–6,0 %) |

Tabelle 2: Verarbeitungseigenschaften und technologische Ergebnisse des Faser-Hochleistungsbetons

| | Stahlfasern | Makro-Kunststofffasern |
|---|--|---|
| | Hochfeste Stahlfaser RC 80/30 BP | 50 mm Länge |
| Dosierung im Laborversuch | 50 kg/m ³ | 7 kg/m ³ |
| Frostausalzbeständigkeit | in hohem Maße erreicht | in hohem Maße erreicht |
| Faserbetonklasse T „Nachrissverhalten“ gemäß ÖVBB-RL „Faserbeton“ | T 5 | T 3 bzw. T 4 |
| baupraktische Beurteilung | ausführbar, für konstruktiven Einsatz geeignet | 7 kg/m ³ in Praxis schwer ausführbar für Brückenrandleisten aufgrund der Ergebnisse der Großversuche voraussichtlich 4–6 kg/m ³ ausreichend |
| Druckfestigkeit nach 28 Tagen | ~95 N/mm ² | ~85 N/mm ² |
| Äquivalente Biegezugfestigkeit nach Richtlinie Faserbeton 2002 | ~7–13 N/mm ² | ~4–6 N/mm ² |
| Pull out-Werte (Ausziehkkräfte) | ~98 kN | ~93 kN |

Großversuche ermöglichten die Bewertung über den praxismgerechten Einsatz von Faser-Hochleistungsbeton
 Großversuch zur baupraktischen Bewertung von Faser-Hochleistungsbeton im Zuge von Brückensanierungen
 Dübel – Ausreißversuch
 Anprall- und Lastversuch an Brücken-Randleisten-Konstruktionen

unterschiedlichen Stahlfasern, Kunststofffasern und Makro-Kunststofffasern (bis 50 mm Länge) durchgeführt. Der verwendete Beton entspricht bis auf Anpassungen zur Erzielung einer entsprechenden Verarbeitbarkeit bei Faserzugabe dem HL-Beton für Brückentragwerke ohne Abdichtung (Tabelle 1).

2. Weiterführende Verbesserungen

Durch das vorliegende Forschungsvorhaben wurde festgestellt, dass es sowohl technisch als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist, Hochleistungsbetone für praxismgerechte Fragestellungen herzustellen. Weitere Anwendungen haben gezeigt, dass man grundsätzlich damit auch Fahrbahndecken herstellen kann. Die hier angeführten Rezepturen wurden bereits in großtechnischen Versuchen geprüft und entsprachen den geforderten Kriterien. Darüber hinaus wurde der faserverstärkte Hochleistungsbeton bereits in der Praxis eingesetzt.

Bei den hier vorgestellten Rezepturen ergab sich ein gewisses Problem in der Verarbeitung. Dieses besteht darin, dass die geeigneten Hochleistungsverflüssiger auf Basis von Polycarboxylat zur Erreichung der W/Z-Werte $< 0,38$ unter gleichzeitigem Einsatz von Mikrosilica zur Erreichung einer möglichst dichten Struktur Schwierigkeiten in der Verarbeitung ergaben. Beide Zusatzmittel bzw. -stoffe bewirken eine stark klebrige Konsistenz des Frischbetons, die in den meisten Fällen des Praxiseinsatzes zu Problemen beim Einbau führten. Ein rasches Ansteifen ergibt sich auch bei Verwendung der meisten Zemente.

Zur Behebung dieser Probleme ist ein weiterführendes Forschungsvorhaben geplant. In diesem sollen etwas geänderte Betonzusammensetzungen auf ihre Tauglichkeit für die vorliegende Fragestellung geprüft werden. Die Zusammensetzung wird so gewählt, dass es zu einer geringfügigen Erhöhung des W/Z-Wertes um $0,02-0,04$ auf etwa $0,38-0,42$ kommt. Gleichzeitig soll der Mikrosilicaanteil entfallen und durch andere Feinstoffe ersetzt werden. Erreicht werden kann dies, wie bereits Vorversuche ergaben, durch den Einsatz

von feinstgemahlten Zementen anstelle des Mikrosilicaanteiles in Verbindung mit neuentwickelten Hochleistungsverflüssigern, die eine vergleichbare Wirkung wie Polycarboxylate zeigen, jedoch nicht deren klebrige Konsistenz aufweisen. Zur Erzielung einer möglichst dichten Porenstruktur werden neben den Feinstzementanteilen noch feingemahlene, reaktive puzzolanische Produkte beigemischt. Für eine zielsichere Frost-Tausalz-Beständigkeit wird ein abgestimmter Luftporenanteil eingeführt. Eingesetzt werden beim Hochleistungsverflüssiger Produkte auf Basis neuentwickelter bzw. modifizierter Melaminharze sowie Vinylcopolymeren.

Zusammenfassung

Brückenrandleisten werden vorteilhaft aus Faser-Hochleistungsbeton unter Verwendung von Makro-Kunststofffasern hergestellt. Der Vorteil liegt in der raschen und damit wirtschaftlichen Herstellung und der hohen Dauerhaftigkeit, die sich aus einem besonders hohen Widerstand gegen Frosttausalzangriff, hoher Verschleißfestigkeit und einer Konstruktion ohne korrosionsgefährdeten Stahl (Wegfall der konstruktiven Bewehrung) und Fugen (Wegfall der Granitsteinverkleidung mit Fugenkitt) ergibt. Zur Überprüfung der theoretischen Überlegungen wurden die Laborerkenntnisse in einem Praxistest erprobt. Dieser besteht aus den in Kapitel 3 angeführten Praxistests, die von Ing. W. Obersamer (Salzburger Landesregierung) betreut wurden.

3. Anprallversuch auf Brückentragwerken mit Randleisten aus Faser-Hochleistungsbeton

3.1 Allgemeines über Fahrzeuergückhaltesysteme

Für die Zulassung vertikaler Leiteinrichtungen (Fahrzeuergückhaltesysteme wie Leitbahnen und Betonleitwände die bei Brücken auf Randleisten montiert werden) müssen die vom Straßenerhalter festgelegten Anforderungen für die jeweiligen Aufhaltestufen erfüllt werden. Den Nachweis für die Erfüllung dieser Anforderungen hat der Hersteller in Form von Anfahrprüfungen (EN 1317 1+2) zu erbringen.

Versuche für Zulassungen werden unter anderem im Versuchsgelände des TÜV bei München gefahren. Im Zuge des Forschungsvorhabens konnten derartige Versuche aus Kostengründen nicht durchgeführt werden.

3.2 Auswahl des Versuchsverfahrens

Die Versuche haben gezeigt, dass statische Berechnungsmodelle ohne Berücksichtigung der Erkenntnisse von Anfahrversuchen nur unzureichende Ergebnisse liefern. Es war daher für den Forschungsauftrag von grundlegender Bedeutung, einen Versuch mit dynamischer Beanspruchung durchzuführen, der möglichst identisch das Belastungssystem der Versuche beim TÜV simuliert, um unter anderem auch Erkenntnisse über den Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit auf die Festigkeit der Werkstoffe im Gesamtsystem zu erlangen. Weiters war zu klären, ob eine Randleiste aus Faser-Hochleistungsbeton einer derartigen Stoßbeanspruchung standhält.

3.3 Bemessungskräfte für die Verankerung der Randleiste mit der Unterkonstruktion

- Voest Kremsbarrier – Bemessungskräfte pro Steher – Steherabstand 1,267 m
 $H = 40,00 \text{ kN}$ (= Horizontalkraft)
 $M = 25,00 \text{ kNm}$ (= Drehmoment)
- Rieder Delta Bloc-Bemessungskräfte pro Verankerung – Verankerungsabstand 1,28 bis 1,45 m
 $H = 170,00 \text{ kN}$ (= Horizontalkraft)
 $M = 50,00 \text{ kNm}$ (= Drehmoment)

Da für die Stahlleitschiene die kleineren Bemessungskräfte anzusetzen sind, erfolgte die Dimensionierung und Ausführung der Randleistenverankerung mit der Unterkonstruktion für die Stahlleitschiene Voest Kremsbarrier. Im Zuge der Versuchsdurchführung hat sich herausgestellt, dass die eingebauten Verankerungen auch wesentlich größere Lasten, die beim Anprall an eine Betonleitwand auftreten, aufnehmen können, ohne dass Schäden eintreten.

3.4 Versuchsdurchführung (Praxistest-Anprallversuch)

3.41 Rezeptur für HL-Randleistenbeton (Anprallversuch)

| | |
|---|------------------------|
| Wasser: | 160 l/m ³ |
| Zement: CEM II/A-V 32,5 R C ₃ A frei (Weiße Wanne) | 450 kg/m ³ |
| W/B-Wert | 0,36 |
| Glenium C330 (FM) = 1,1 % v. Z. | 4,95 kg/m ³ |
| Mikrosilica Slurry = 10 % | 45,0 kg/m ³ |
| Micro Air 107 – 5 = 0,08 % | 0,37 kg/m ³ |
| Pozzolith 20R (Retarder) = 0,3 % | 1,35 kg/m ³ |
| Zuschlag: | |
| 0/4 Deisl / Sulzau = 70 % | 274 kg/m ³ |
| 8/16 Diabas = 30 % | 546 kg/m ³ |
| Kunststofffaser: „Grace Structural Fibers“ | 7 kg/m ³ |

3.42 Randbalken aus Faser-Hochleistungsbeton:

- Länge 10,00 m, Breite 1,25 m
- Konstruktionshöhe über Unterkonstruktion 0,22 m, Konstruktionshöhe außen 0,42 m
- Randbalkenabmessung analog RVS 15.411, jedoch ohne Stahlbewehrung und mit geänderter Dübelverankerung, kein Granitbordstein, keine Leerverrohrungen für Versorgungsleitungen.

3.43 Beschreibung Stahlrampe mit Stahlbetonwagen (Abb. 1)

Rampe aus Stahl:

Gesamtlänge 14,00 m, Höhe 3,00 m

Stahlbetonwagen mit Rädern:

Länge 2,75 m, Höhe 0,85 m, Breite 1,35 m

Abb. 1: Rampe mit Stahlbetonwagen



3.44 Versuchsanordnung

Versuch 1

Anprallversuch Stahlleitschiene Kremsbarrier

Zur Messung der Anprallkräfte erfolgte der Einbau von 2 Kraftmessringen bei den Verankerungsschrauben der Fußplatte bei Steher Nr. 4.

Wegen der zu geringen Länge der Versuchsstrecke (Randbalkenlänge) kann sich eine für die Funktionsfähigkeit eines Rückhaltesystems erforderliche Zugbandwirkung nicht wirkungsvoll aufbauen. Es wurden daher an den Enden der Stahlleitschienen Ketten befestigt, die verschieblich verankert und leicht gespannt wurden. Dieses Verankerungssystem wurde zur Simulation einer Zugbandwirkung während des Anpralls angewandt.

Versuch 2

Anprallversuch Betonleitwand Fa. Rieder

Am Versuchsrandbalken aus Faser-Hochleistungsbeton wurde – nachdem der Versuch mit der Stahlleitschiene abgeschlossen worden war – die Betonleitwand Rieder Delta Bloc 80 „Salzburger Klaue“ aufgebaut. Der Aufbau einer Zugbandwirkung erfolgte analog zum Versuch mit der Stahlleitschiene.

3.45 Versuch 1 – Anprallversuch Stahlleitschiene (Abb. 2)

Abb. 2: Anprall des Stahlbetonwagens auf die Stahlleitschiene



Die Verankerungsschrauben bei der Fußplatte des Stehers Nr. 4 wurden herausgezogen, bei den eingebauten Kraftmessringen der Fußplatte des Stehers Nr. 4 wurden Ankerkräfte von 170 kN und 180 kN gemessen. (Abb. 3) Diese Ankerkräfte liegen im Bereich der Bruchlast des Ankers.

Abb. 3: Gemessene Ankerkräfte bei Steher Nr. 4

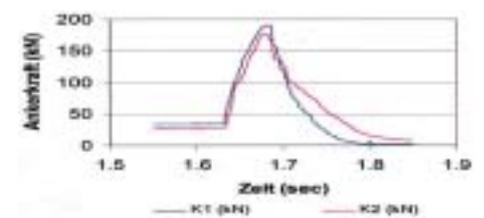


Abb. 4: Steher Nr. 3 – Linke Verankerungsschraube herausgezogen, rechte Verankerungsschraube abgerissen



Der Anprallversuch für das Stahlleitschiensystem beim TÜV bei München ergab für die Verankerung eine max. Zugkraft von 169 kN. Somit liegt diese Kraft geringfügig unter den hier festgestellten Werten (ca. 170–180 kN).

Bei Fußplatte Nr. 3 wurde eine Ankerschraube herausgezogen und die zweite Ankerschraube ca. in Höhe der Schraubmutter abgerissen (Abb. 4). Dies bedeutet, dass bei der abgerissenen Schraube der Widerstand gegen Betonversagen bzw. gegen Herausziehen größer war als die Bruchlast des Stahlankers.

Aufgrund der festgestellten sehr ähnlichen Reaktionslasten in den Anker, den ähnlichen Verformungsbildern an der Leitschienenkonstruktion und der guten Übereinstimmung der Lasteinwirkungsdauer kann davon ausgegangen werden, dass beim Anprallversuch mittels Betonwagens ähnliche Lasten auf das Gesamtsystem einwirken wie bei den Versuchen beim TÜV in München.

Die gesamte Randbalkenoberfläche zeigte nach dem Anprallversuch keine Risse und keine Auszugstrichter im Bereich der Verankerungsschrauben. Es waren nur oberflächliche, geringfügige Betonabplatzungen zufolge der enormen Kräfte aus Lochleibung vorhanden. Auch waren keine Anzeichen eines Abhebens oder Ablösens des Randbalkens von der Unterkonstruktion feststellbar.

3.46 Versuch 2 – Anprallversuch Betonleitwand

Nach dem Aufprall waren an der Betonleitwand Abplatzungen und Rissbildungen speziell im Zentrum des Anpralls feststellbar. Beim Randbalken traten nur geringfügige oberflächliche Beschädigungen auf. (Abb. 5 und 6)

Im Bereich der gesamten Randbalkenoberfläche waren im Beton nach dem Anprallversuch keine Risse und keine Auszugstrichter vorhanden. Auch waren keine Anzeichen des Abhebens oder Ablösens des Randbalkens von der Unterkonstruktion feststellbar. Dies ist insofern von grund-

gender Bedeutung, als die Verankerungen für die Randleiste auf der Unterkonstruktion nur für den Lastfall Stahlleitschiene und nicht für die größeren Werte für die Betonleitwand ausgelegt wurden.

3.5 Zusammenfassung Anprallversuche

Die Randleiste aus Faser-Hochleistungsbeton ohne konventionelle Bewehrung hat allen Beanspruchungen beim Anprall an die jeweiligen Rückhaltesysteme standgehalten.

An der Oberfläche des Faser-Hochleistungsbetons waren keine Risse und im Bereich der Verankerungsschrauben keine Auszugstrichter feststellbar.

Beide Rückhaltesysteme haben die Anpralllast ohne Versagen des Gesamtsystems aufgenommen.



Abb. 5: Anprall des Stahlbetonwagens auf die Betonleitwand



Abb. 6: Starke Abplatzungen bei der Betonleitwand – geringfügige oberflächliche Schäden beim Faserhochleistungsbeton