

Anwendung hochfesten Betons im Brückenbau

Konrad Zilch, Markus Hennecke¹

1 Einleitung

Am Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München wurde 1997 das vom Deutschen Betonverein geförderte Forschungsvorhaben „Anwendung hochfesten Betons im Brückenbau“ durchgeführt. In dem Vorhaben sollten Grundlagen zur Anwendung des Baustoffs im Brückenbau untersucht werden.

Seit Ende der achtziger Jahre wird in Deutschland hochfester Beton unter Baustellenbedingungen verarbeitet. Vorrangig wurde der Baustoff für hochbelastete Stützen in Hochhäusern oder bei Bauten für den Umweltschutz angewandt. In einigen europäischen Ländern, den USA, Canada und Japan sind auch Brückenbauwerke mit Hochleistungsbeton gebaut worden. Da mit der Steigerung der Druckfestigkeit auch andere Eigenschaften des Baustoffs positiv verändert werden, prägte sich für den hochfesten Beton auch der Begriff Hochleistungsbeton [10].

In Deutschland liegen mit der „Richtlinie für hochfesten Beton“ [11] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton seit 1995 Bemessungsregeln für den hochfesten Beton als Ergänzung zur DIN 1045 [3] vor. Für den Spannbetonbau, der im Brückenbau sein hauptsächliches Anwendungsgebiet findet, existieren bisher keine nationalen Regelungen. Ein bedeutender Teil des Forschungsvorhabens beschäftigt sich daher mit der Formulierung entsprechender Regelungen, die als Ergänzung zur DIN 4227 Teil 1 [4] konzipiert sind. Mit dem Ansatz, auf der Grundlage des alten Normenkonzepts Bemessungsregeln zu entwickeln, wurde das Ziel verfolgt, den neuen Baustoff mit einem vertrauten Bemessungskonzept möglichst schnell bei Bauwerken anwenden zu können.

Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsvorhabens schrieb die bayerische Straßenbauverwaltung im Frühjahr 1998 ein Brückenbauwerk mit Hochleistungsbeton B 85 als Pilotprojekt aus [6].

2 Anwendungen im Brückenbau

Zur Beurteilung der Anwendung eines Baustoffs im Brückenbau sind nicht nur seine konstruktiven Eigenschaften sondern auch die Dauerhaftigkeitsmerkmale von großer Bedeutung. Diesen wird vor dem Hintergrund stetig steigender Aufwendungen für die Bauwerkserhaltung seitens der Straßenbauverwaltung immer größere Beachtung geschenkt. Gerade unter diesem Aspekt empfiehlt sich der Hochleistungsbeton für den Brückenbau, da wegen der dichteren Materialstruktur eine verbesserte Dauerhaftigkeit abgeleitet werden kann. Laborversuche zur

¹ Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München

Untersuchung entsprechender Parameter bestätigen diese Annahme. Die experimentellen Ergebnisse müssen nun an Objekten, die den Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, verifiziert werden. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, welchen Einfluß die Verarbeitung des Hochleistungsbetons unter Baustellenbedingungen auf die Ausbildung seiner hochwertigen Materialeigenschaften hat.

Unter konstruktiven Gesichtspunkten bietet der hochfeste Beton Vorteile bei modernen Bauverfahren und Querschnittsgestaltungen. Bei Brückenüberbauten, die im Taktschiebeverfahren oder im Freivorbau errichtet werden, sowie bei Fertigteilkonstruktionen können in Bauzuständen hohe Betondruckspannungen auftreten. Durch die Anwendung hochfesten Betons kann auf partielle Querschnittsverstärkungen verzichtet werden, wodurch das Eigengewicht reduziert und die Herstellung vereinfacht wird. So werden sich zum Beispiel durch Hochleistungsbeton die Möglichkeiten erweitern, Brücken mit Plattenbalkenquerschnitten im Taktschiebeverfahren herzustellen. Ein besonders attraktives Einsatzgebiet für den Hochleistungsbeton sind Fertigteilkonstruktionen, bei denen der Baustoff unter idealen Bedingungen hergestellt und verarbeitet werden kann. Mit dem hochfesten Beton können die Montagegewichte reduziert und die Spannweiten der Fertigteile vergrößert werden.

In Verbindung mit der externen Vorspannung besteht die Möglichkeit, fortschrittliche Querschnitte mit aufgelösten Stegen zu gestalten, um das Eigengewicht der Konstruktion zu verringern. Durch die Reduzierung der Steifigkeit der Stege in Brückenlängsrichtung nähert sich die Tragwirkung der Querschnitte dem Ideal eines Zweipunktquerschnittes an, so daß sich die Druckkräfte in den Druckgurten konzentrieren und höhere Druckfestigkeiten notwendig sind. Bei Bogenbrücken werden über die Bögen große Druckkräfte abgeleitet. Schon Mitte der achtziger Jahre wurde bei der Maintalbrücke Veitshöchheim im Zuge der Neubaustrecke Hannover - Würzburg durch aufwendige betontechnologische Maßnahmen die Betondruckfestigkeit gesteigert, um den Bewehrungsgehalt in dem Bogen zu reduzieren [7][8].

3 Bemessungsregeln

In den Diskussionen mit der Beratergruppe des Forschungsvorhabens war entschieden worden, das Konzept und das Sicherheitsniveau der bestehenden Spannbetonnorm DIN 4227 Teil 1 beizubehalten. Das Sicherheitsniveau der deutschen Spannbetonnorm hat sich in über vier Jahrzehnten Anwendungspraxis bewährt. Neuere Bemessungsansätze bieten die Möglichkeit, das Tragverhalten der Betonkonstruktionen wirklichkeitsnäher zu erfassen, und somit gegebenenfalls wirtschaftlicher zu konstruieren. Aber die diesbezüglichen Erfahrungen im Brückenbau sind begrenzt. Die zur Beurteilung der Anwendung des neuen Materials im Brückenbau notwendige Vergleichbarkeit wäre durch unterschiedliche Bemessungsansätze beeinträchtigt.

Analog zum Vorgehen bei [11] sind zur Formulierung der Bemessungsregeln auch bei der Spannbetonnorm DIN 4227 Teil 1 sämtliche Abschnitte hinsichtlich der Anwendbarkeit für den Hochleistungsbeton untersucht worden. Die Grundlage für die Beurteilung sind die in der Literatur beschriebenen Materialeigenschaften [1][2][12]. Bei der Festlegung der Bemessungswerte, die exemplarisch im folgenden erläutert werden, sind jedoch nicht nur die gestiegenen Festigkeiten zugrunde zulegen, sondern auch, insbesondere bei den Nachweisen zur Tragsicherheit, das sprödere Bruchverhalten.

Im Anwendungsbereich der Ergänzung sind Fertigteile mit Ortbetonergänzung und Vorspannung mit sofortigem Verbund ausgeschlossen, da bezüglich einiger zentraler Detailfragen noch Klärungsbedarf besteht. Bei den Fertigteilkonstruktionen mit Ortbetonergänzung besteht zur Schubübertragung in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbetonergänzung sowie zur Auswirkung der Langzeitverformungen bei der Verwendung von Betonen mit sehr unterschiedlichen Festigkeitsklassen Forschungsbedarf.

Die Mindestbewehrung gemäß DIN 4227-1/A1 ist unter Ansatz der gestiegenen Zugfestigkeiten des hochfesten Betons festgesetzt. Das Verformungsverhalten des Betons für die Bemessung auf Biegung mit Längskraft wird mit der parameterisierten Spannungs - Dehnungsbeziehung aus [12] beschrieben. Bei der Darstellung des Dehnungs - Diagramms ist eine zusätzliche Linie eingefügt, so daß bei gegliederten Querschnitten die Stauchung im Druckgurt auf die Dehnung beim Erreichen der Druckfestigkeit ε_{bs} des Betons begrenzt wird, um dem spröderen Bruchverhalten des Hochleistungsbetons Rechnung zu tragen.

Die Kriech - und Schwindverformungen des Hochleistungsbetons können mit den bestehenden Ansätzen in der Norm nicht abgeschätzt werden. Daher ist der Ansatz aus dem Eurocode 2 übernommen worden, den Müller durch Anpassungsfaktoren für den Hochleistungsbeton erweitert hat [9]. Zur Auswertung der Ansätze sind Diagramme entwickelt worden.

Ein zentraler Bestandteil der DIN 4227 Teil 1 ist die Tabelle 9, in der zulässige Spannungen für Nachweise im Gebrauchs - und Bruchzustand angegeben sind. Die Tabelle ist für den Hochleistungsbeton auf der Basis der bisherigen Festlegungen unter Berücksichtigung der gestiegenen Festigkeiten erweitert worden. Die Festlegung der zulässigen Druckspannungen orientieren sich an der Grenze $0,40 \beta_{wn}$, um nichtlineares Kriechen auszuschließen. Die Zugspannungen gemäß Zeile 27 bis 44 steigen aufgrund des unterproportionalen Anstiegs der Zugfestigkeit nur noch geringfügig an.

Für die Nachweise der Schubtragfähigkeit sind in der Tabelle 9 Zeile 50 bis 56 Werte angegeben, bis zu denen kein Nachweis der Schubbewehrung geführt werden muß. Sie sind auf dem Niveau des B 55 belassen. Für Balken sind diese Werte durch die Mindestschubbewehrung hinreichend abgesichert. Zur Verifizierung der Zusammenhänge bei Platten ohne Schubbewehrung ist in einer Parameterstudie der Ansatz der DIN 4227 Teil 1 (Gleichung 1) dem in der E DIN 1045 - 1 [5] angeführten (Gleichung 2) gegenübergestellt.

$$\tau = \frac{Q}{b_o z} = 1,40 \cdot \left(\frac{0,12}{d} + 0,60 \right) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

$$\tau = \frac{Q}{bh} = 1,5 \cdot 0,12 \cdot (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} - 0,10 \sigma_N \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

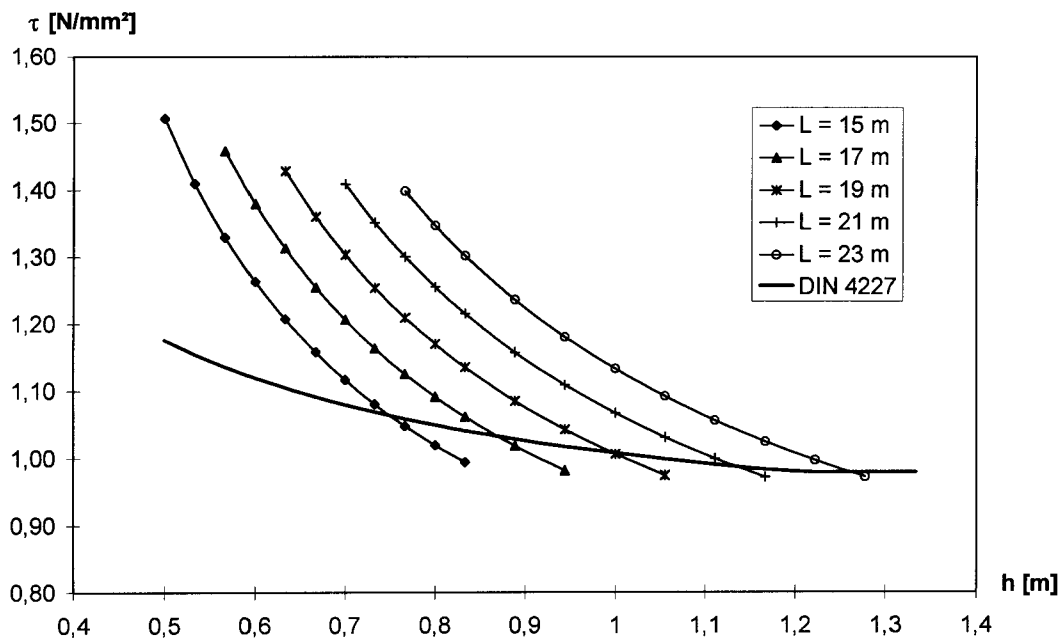


Bild 1: Vergleich der Bemessungswerte des Schubwiderstandes für Bauteile ohne Schubbewehrung berechnet mit dem Ansatz nach DIN 4227 Teil 1 und E DIN 1045-1

Die als „DIN 4227“ bezeichnete Kurve im Bild 1 gibt die Werte für die Nachweisgrenze als Funktion der Bauteilhöhe an. Die übrige Kurvenschar zeigt die Auswertung des Ansatzes gemäß E DIN 1045 - 1 in Abhängigkeit der Bauteilhöhe und der Spannweite, aus denen sich die erforderliche Vorspannung ableiten läßt. Für die Betonfestigkeitsklasse ist ein B 65 angesetzt, die Längsbewehrung ist mit der Mindestbewehrung berücksichtigt und die Schlankheit variiert zwischen 18 und 30. Es zeigt sich, daß unter den Verhältnissen des Brückenbaus der Ansatz nach DIN 4227 Teil 1 nur bei geringen Schlankheiten und kleinen Spannweiten die Tragfähigkeit geringfügig günstiger einschätzt.

Oberhalb der Nachweisgrenze ist vorgesehen, bei Platten ohne Schubbewehrung die Schubspannung mit dem Konzept der E DIN 1045 - 1 nachzuweisen. Für Bauteile mit Schubbewehrung wird der Ansatz der alten Spannbetonnorm übernommen. Durch die Begrenzung der Werte in den Zeile 50 bis 56 auf dem Niveau des B 55 wird die Möglichkeit der rechnerischen Abminderung der Druckstrebenneigung für die Bemessung der Schubbewehrung vermindert. Damit wird dem noch nicht abschließend geklärten Umlagerungsvermögen des Hochleistungsbetons im Grenzzustand der Tragfähigkeit Rechnung getragen.

4 Zusammenfassung

In dem Forschungsvorhaben „Anwendung hochfesten Betons im Brückenbau“ wurden Anwendungsmöglichkeiten für den Brückenbau untersucht. Der Baustoff bietet insbesondere

unter Berücksichtigung der Bauverfahren und neuer Querschnittsformen Möglichkeiten zur Erweiterung der Anwendung der Spannbetonbauweise. Um ein Bauwerk mit Hochleistungsbeton errichten zu können, wurden Bemessungsregeln für den Hochleistungsbeton als Erweiterung zur DIN 4227 Teil 1 formuliert.

5 Literatur

- [1] FIP SR90/1 / CEB Bulletin d'Information No. 197, High Strength Concrete, State of Art Report. CEB, Lausanne, August 1990
- [2] de Larrard, F.; Lacroix, R. (Hrsg.): 4th international Symposium on the Utilization of HSC/ HPC, 29-31 May 1996, Paris, France
- [3] DIN 1045 - Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Juli 1988
- [4] DIN 4227 - Spannbeton. Teil 1 Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung. Juli 1988
- [5] E DIN 1045 - 1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Februar 1997
- [6] Hennecke, M.: Pilotprojekt Buchloe - Brücke aus Hochleistungsbeton. Münchner Massivbau - Seminar 1998, Tagungsband, Technische Universität München, München, 1998
- [7] Naumann, G., Springenschmid, R., Zilch, K.: Betontechnologische Besonderheiten beim Bogen der Maintalbrücke Veitshöchheim. Beton- und Stahlbetonbau 82 (1987) H. 9, S. 229 - 233
- [8] Naumann, G., Wiest, R., Zilch, K.: Konstruktion, Berechnung und Bau der Maintalbrücke Veitshöchheim. Beton- und Stahlbetonbau 83 (1998) H. 1 u. 2, S. 19 - 22 u. 49 - 52
- [9] Müller, H.S.: Kennwerte des Kriechens von hochfestem Beton.
- [10] König, G., Grimm, R.: Hochleistungsbeton. Beton-Kalender 1996, Teil II, S.441-546, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1996
- [11] Richtlinien für hochfesten Beton. Ergänzung zur DIN 1045 / 07.88 für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 115. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Berlin, August 1995
- [12] Schrage, I., König, G.: Hochfester Beton - Sachstandsbericht. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 438, Beuth - Verlag, Berlin, 1994