

Spannbetonstraßen aus Quellszement

Von Kurt Walz, Düsseldorf

Übersicht

Der Gedanke, durch Quellszement den Beton unter Druckvorspannung zu setzen und so einer Ribbildung entgegenzuwirken, hat in den USA versuchsweise zur Herstellung von fugelosen Betondecken geführt. Solche Ausführungen wurden von den Straßenbaubehörden in Kalifornien und Connecticut betrieben. Während man in Kalifornien die Vorspannung der unbewehrten Decke durch Widerlager an den Plattenenden erzielte, legte man in Connecticut eine Bewehrung ein, die die Betondehnung behinderte; sie bestand in der Längsrichtung aus Spanndrahtlitzen. Auf der kalifornischen Strecke entstanden Querrisse, weil offenbar die quellende Komponente in dem nur als „schwindfreien Zement“ vorgesehenen Quellszement zu gering war, um eine ausreichende Druckvorspannung zu gewährleisten. Dagegen ließen die Messungen an der bewehrten Versuchsplatte in Connecticut, die als Vorläufer für eine Straßendecke ausgeführt wurde, auf ein erfolgsversprechendes Verhalten schließen.

1. Einleitung

Im vergangenen Jahr erschienen in amerikanischen Fachzeitschriften zwei Berichte über Versuche, bei denen Quellszement für Betonfahrbahnen benutzt wurde. Beiden Untersuchungen lag die Absicht zugrunde, eine fugelose Betondecke durch Quellszement so weit vorzuspannen, daß Zugrisse nicht auftreten. Die Versuche wurden unabhängig voneinander und mit unterschiedlichem Vorgehen in Kalifornien [1] und in Connecticut [2] angestellt.

Die Bemühungen in den USA, einen durch Quellszement sich selbst vorspannenden Beton zu schaffen, gehen von der an der Universität von Kalifornien, Berkeley, durch A. Klein und T. Y. Lin eingeleiteten Entwicklung aus [3]. Wie den früher darüber erschienenen Veröffentlichungen zu entnehmen ist [4, 5, 6], betrieb dabei A. Klein die Entwicklung eines ausreichend beherrschbaren und einfach anzuwendenden Quellszements, während sich T. Y. Lin der damit verbundenen mechanischen und konstruktiven Aufgaben annahm.

Der in Kalifornien entwickelte Quellszement¹⁾ besteht aus einem gemeinsam vermahlenden Gemisch aus Portlandzement-Klinker hohen

¹⁾ Patentinhaber ist die Chemical Prestressed Concrete Corporation, Van Nuys, Kalifornien.

Tricalciumsilicat- sowie niederen Tricalciumaluminatgehalts und einem wasserfreien Calciumaluminatsulfat-Klinker (CAS-Klinker²⁾). Der Anteil des CAS-Klinkers, der das Quellen bewirkt, wird je nach der erforderlichen Dehnung verschieden hoch gewählt. Durch den quellenden Zement dehnt sich der erhärtende Beton aus. Wird die Dehnung des Betons behindert, z. B. durch eine eingelegte Bewehrung, so entsteht im Beton eine Druckspannung und im Bewehrungsstahl eine Zugspannung. Dieser bautechnisch erwünschte Spannungszustand liegt auch im Spannbeton vor, bei dem der Spannstahl mit hydraulischen Pressen gegen den erhärteten Beton vorgespannt wird. Man kann auch die Dehnung des Betons durch unverschiebliche Widerlager verhindern und erhält dadurch im Beton ebenfalls eine Druckvorspannung.

Bei eingehenden Modellversuchen im Laboratorium [6] zeigte sich, daß unter Belastung die Festigkeit des Betons und das Verhalten der untersuchten Konstruktionselemente (Druckrohre, kreuzweise und einfach bewehrte Platten, Balken, hyperbolische Paraboloid-schale) an Hand der herkömmlichen Elastizitätstheorie und der Grundsätze des Spannbetons ungefähr vorausgesagt werden können, wenn die mechanischen Eigenschaften des quellenden Betons beim Entwurf bekannt sind.

Während bisher nur Bauelemente aus Quellszement im Laboratorium hergestellt und geprüft wurden, handelt es sich bei den beiden Untersuchungen [1] und [2] unseres Wissens um die erste Anwendung für Betonfahrbahnen unter praktischen Bedingungen³⁾. Nachfolgend werden aus diesen beiden Berichten die dazu angestellten Überlegungen, die wesentlichsten Einzelheiten der Ausführung und die Feststellungen wiedergegeben.

²⁾ Eine Übersicht über die verschiedenen Quellszemente, in der u. a. auf die Herstellung und den Chemismus des Quellvorgangs eingegangen wird, findet sich mit Literaturangaben in [7].

³⁾ Einer ebenfalls kürzlich erschienenen Mitteilung [8] ist zu entnehmen, daß in Los Angeles eine fugenlose, 1100 m² große Grundplatte für ein Wohn- und Bürogebäude mit dem schwindfreien Quellszement hergestellt worden ist; er fand ferner Verwendung für ein Falldach in Yuba-City (Kalifornien), das ohne Dachdichtung während der 15monatigen Beobachtungszeit dicht blieb. Als weitere Anwendungsbeispiele werden das Oberdeck der Garage von General Motors in Detroit, Teile einer Fußbodenplatte eines Motels in Dallas (Texas) und die Parkfläche einer Automobilhandlung genannt. Die Betonplatten blieben rissfrei. — Neben diesen kurzen Hinweisen wird mitgeteilt, daß der Klinker der Quellszemente im üblichen Drehofen in der Regel aus Bauxit, Kalkstein und Gips hergestellt wird und daß sein Anteil im Quellszement — im allgemeinen 15 bis 20 % — auf die Zusammensetzung des jeweiligen Portlandzements abgestimmt werden muß. Es wird für den „schwindfreien“ Quellszement eine Ausgangsdehnung des Betons von 0,1 % angestrebt und für den sich „selbst vorspannenden“, in geeigneter Weise verspannten Beton eine Dehnung von 0,5 bis 1 %, — Die Kosten des Quellszements liegen in den zwei aufgeführten Herstellerwerken wegen der hohen Rohstoffkosten um 36 bis 52 % über denen des Portlandzements Typ I. Trotzdem wird angesichts des laufend zunehmenden Absatzes angenommen, daß der Quellszement wegen seiner Vorteile (Bauteile ohne Schwindfugen und ohne Dichtung) den Portlandzement des Typs I mit der Zeit ersetzen könne. (In dem Bericht finden sich auch noch einige hier nicht interessierende Einzelheiten über die Vertriebsgesellschaft für die Herstellungsrechte dieses Quellszements.)

2. Bericht über die Versuchsstrecke in Kalifornien [1]

2.1 Überlegungen

Zur Zeit werden in Kalifornien in die dort unbewehrten Betondecken je km 212 Scheinfugen in einem Abstand von rd. 4,70 m eingesägt, was bei einer 7,2 m breiten Decke etwa 3000 DM je km kostet⁴⁾. Daher kam der Gedanke auf, durch einen mäßig quellenden Beton die Verkürzungen infolge Schwindens aufzuheben, um auf die Scheinfugen verzichten zu können. Für die Erprobung dieser Möglichkeit wurde eine Versuchsstrecke vorgesehen; dabei sollte die Menge der quellenden Komponente (CAS-Klinker) des Zements relativ klein eingestellt werden. Auf Grund der früheren Laboratoriumsversuche wählte man für den Beton einen Quellszement aus 15 % Calciumaluminatsulfat-Klinker und 85 % Portlandzement (Typ II).

Man setzte für diesen Beton voraus, daß er beim Erhärten quillt, solange er feucht gehalten wird, und anschließend wie jeder andere Beton beim Austrocknen schwindet. Die Quellung müßte also wenigstens so groß sein, daß die Decke sich später beim Austrocknen nicht über ihr ursprüngliches Maß hinaus verkürzt und dadurch keine Zugspannungen erhält. Betoniert man eine solche Decke zwischen zwei festen Widerlagern, dann entsteht während der feuchten Nachbehandlung eine Betondruckvorspannung, deren Größe vom Anteil der quellenden Komponente (CAS-Klinker), der Nachbehandlung, dem Elastizitätsmodul und dem Kriechen des Betons sowie dem Verschiebewiderstand der Widerlager abhängt. Beim Austrocknen und dem damit verbundenen Schwinden baut sich dann die Druckvorspannung teilweise oder ganz ab. War die Vorspannung durch das Quellen groß genug, dann verbleibt nach dem Schwinden eine geringe Druckspannung im Beton, und Zugspannungen durch Schwinden treten nicht auf.

Wichtig ist daher eine ausreichend lange, feuchte Nachbehandlung. Laboratoriumsversuche ergaben hierzu, daß pigmentierte Nachbehandlungsfilme nicht lange genug ausreichende Feuchtigkeit in der Decke zurückhalten, um das gesamte Quellmaß zu gewährleisten. Wurde der Beton dagegen nach gründlichem Annässen mit weißer Plastikfolie abgedeckt, so wurde der größte Teil der möglichen Quellung nach 6tägiger Nachbehandlung erreicht.

2.2 Ausführung

Die Versuchsstrecken kamen in den Antelope Valley Freeway im Distrikt VII und in die U.S. 99 nahe Lodi im Distrikt X zu liegen. Sie waren 2,4 km lang und in 6 Abschnitte unterteilt. 2 Abschnitte wurden mit gewöhnlichem Baustellenzement und 4 Abschnitte mit dem das Schwinden ausgleichenden Quellszement hergestellt (im folgenden auch als „schwindfreier Zement“ bezeichnet). Die Hälfte der Versuchsabschnitte jeder Strecke bestand aus LP-Beton und die andere aus Beton ohne künstliche Luftporen. Der Zementgehalt der Versuchsstrecke im Antelope Valley Freeway betrug rd.

⁴⁾ Umgerechnet mit dem reinen Währungsverhältnis von 1 Dollar gleich 4 DM

335 kg/m³ und rd. 365 kg/m³; die Abschnitte der Versuchsstrecke bei Lodi wiesen einen einheitlichen Zementgehalt auf, dessen Größe im Bericht nicht angegeben ist.

Alle Abschnitte waren ohne Fugen herzustellen und mit Plastikfolien während 7 Tagen nachzubehandeln. Am Ende eines Abschnittes aus schwindfreiem Zement waren Widerlager anzubringen, die die Längenausdehnung der Platte verhindern sollten. Die Widerlager bestanden aus dem letzten, 4,5 m langen Stück der Fahrbahn, das sich von 20 cm (Deckendicke) auf rd. 60 cm verdickte. Bei der ersten Versuchsstrecke im Antelope Valley Freeway wurden zusätzlich zu den Widerlagern Quernuten in den Untergrund eingeschnitten, um den Gleitwiderstand an den Widerlagern zu erhöhen. Sie erschienen nach den ausgeführten Messungen nicht nötig; für die zweite Versuchsstrecke nahe Lodi wurden daher nur die Widerlager ohne Verzahnung eingebaut.

Nach den Messungen beim Antelope Valley Freeway hörte die Dehnung nach etwa 3 oder 4 Tagen auf; dies wurde auf einen Mangel an Feuchtigkeit für das Erhärten des Quellzements zurückgeführt. Deshalb wurde die Hälfte der Versuchsabschnitte bei Lodi ohne Plastikfolie ausgeführt, bis zur ausreichenden Erhärtung mit Wasser besprüht und dann mit nassem Boden abgedeckt.

2.3 Feststellungen

Zur Messung der Längenänderungen wurden an der Fahrbahnoberfläche Meßbolzen für Dehnungsmesser eingesetzt; außerdem wurden in die Decke Dehnungsgeber einbetoniert. Die Ablesungen zeigten, daß die Dehnung in senkrechter Richtung am größten und die Längsdehnung nahezu Null war; die Querdehnung lag dazwischen. Daraus schloß man, daß die Betondecke in Längsrichtung unter Druckvorspannung kam.

58 Tage nach Entfernung der Plastikfolien auf der Versuchsstrecke des Antelope Valley Freeway war der mittlere Abstand der Risse in den Abschnitten mit schwindfreiem Zement 18 m und in den mit Normalzement 16,8 m ⁵⁾. Die unbefriedigende Wirkung wurde darauf zurückgeführt, daß gegenüber den Laboratoriumsversuchen der Anteil an quellender Komponente (Calciumaluminatsulfat-Klinker) in dem schwindfreiem Zement zu klein war, da die insgesamt erwartete Dehnung sich nicht einstellte.

Für die Lodi-Versuchsstrecke lagen zur Berichtszeit offenbar noch wenig Feststellungen vor. Die ersten Beobachtungen ließen jedoch ein ähnliches Verhalten wie auf der anderen Versuchsstrecke erwarten. Risse erschienen in allen Abschnitten trotz der zusätzlichen Maßnahmen für eine ausgiebige Feuchthaltung. Drei Wochen nach der Feuchtbehandlung fand sich der mittlere Abstand der Risse in den Abschnitten mit schwindfreiem Zement zu 20,4 m und der Rißabstand in den Vergleichsabschnitten mit Portlandzement zu 19,5 m. Der Unterschied in den mit Plastikfolie und nassem Boden nachbehandelten Abschnitten war gering.

⁵⁾ Der durchschnittliche Abstand der Risse in den Abschnitten mit LP-Beton betrug 14,4 m, der im Beton ohne künstliche Luftporen 21,0 m.

Von einer weiteren Auswertung der Feststellungen wird Aufschluß darüber erwartet, weshalb sich keine günstigeren Reißverhältnisse einstellen. Es könnte sein, daß der Beton zum Zeitpunkt, als die Dehnung einsetzte, plastisch nachgegeben hat und so die Entwicklung ausreichenden Drucks verhindert wurde. Es mag auch sein, daß vor allem ein größerer Anteil der quellenden Komponente nötig gewesen wäre, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. (Abschließend wird auf künftige Versuchsarbeiten mit dem Quellzement in den Laboratorien und auf die vom Staat Connecticut geplante bewehrte Straßendecke hingewiesen.)

3. Bericht über die Versuchsplatte für die Straßenbauabteilung in Connecticut [2]

3.1 Überlegungen

Hier war beabsichtigt, den mit dem Quellzement hergestellten Beton durch eingelegte Drahtlitzen vorzuspannen. Dabei wurden die bisher im Laboratorium mit der „chemischen Vorspannung“ gewonnenen Erfahrungen genutzt [5, 6]. Diese besagen, daß die Größe und die Geschwindigkeit der Quellreaktion bestimmt werden durch die chemische Zusammensetzung des Quellzements, die Feinheit und den Anteil der Calciumaluminatsulfat-Komponente im Quellzement, das Verhältnis von Wasser zu Quellzement (Wasserzementwert), den Zementgehalt des Betons, die Nachbehandlungsbedingungen und den Grad der Einspannung. Werden diese Einflußgrößen berücksichtigt, so ist es möglich, Betone herzustellen, die innerhalb eines praktischen Bereichs die vorgesehenen Eigenschaften aufweisen.

3.2 Ausführung

Um die Anwendbarkeit des „selbst spannenden Zements“ nachzuweisen, wurde eine Versuchsplatte (Baumuster einer Spannbeton-Straßendecke) im Spannbetonwerk der C. W. Blakeslee and Sons, Inc., in Hamden/Connecticut, hergestellt. Bei Entwurf und Ausführung der Versuchsplatte wirkten die T. Y. Lin and Associates und die Concrete Research and Development Corporation mit. Die Versuchsplatte sollte der Straßenbauabteilung in Connecticut Unterlagen für die zu bauende Versuchsstrecke bei Glastonbury liefern (Baubeginn Frühherbst 1963).

Der durch die Permanente Cement Company hergestellte Quellzement war ursprünglich für einen anderen Zweck vorgesehen gewesen und enthielt nicht so viel Calciumaluminatsulfat-Klinker wie für die gewünschte Dehnung angezeigt erschien. Aus diesem Grunde war es hier notwendig, rd. 560 kg Quellzement je m^3 Beton zu verwenden. (Dagegen werden bei der eigentlichen Versuchsstrecke nur etwa 390 kg Quellzement je m^3 Beton nötig werden, da dieser Zement einen größeren Gehalt an Calciumaluminatsulfat-Klinker aufweisen wird.)

Die 15 cm dicke, rd. 56 m lange und rd. 4 m breite Platte wurde in Holzschalung auf einem verdichteten Untergrund hergestellt. Zur Verminderung der Reibung zwischen Untergrund und dem sich dehnenden Beton waren ein 2,5 cm dicker, bituminöser Belag und

4. Zusammenfassung und Folgerung

4.1 Der von A. Klein entwickelte Quellzement wird aus Portlandzement-Klinker und einem bestimmten Anteil (z. B. 12,5 bis 25 %) eines die Dehnung bewirkenden, wasserfreien Calciumaluminat-sulfat-Klinkers ermahlen.

4.2 Die damit in Kalifornien gebauten, insgesamt 2,4 km langen Versuchsabschnitte waren ohne Fugen und unbewehrt. Die durch den Quellzement entstehende Längsdehnung der Deckenabschnitte war von Endwiderlagern aufzunehmen, so daß die Decke eine Druckvorspannung erhielt. Der Anteil der Quellkomponente wurde so vorgesehen, daß schwindfreier Beton, in dem eine geringe Druckspannung verbleiben sollte, zu erwarten war. Damit sollte eine Schwindrißbildung in der fugenlosen Decke verhindert werden. Es zeigte sich jedoch, daß in den mit Quellzement hergestellten Versuchsabschnitten nur unwesentlich weniger Risse entstanden als in den Vergleichsabschnitten mit Portlandzement. Man nimmt daher an, daß ein größerer Anteil an quellender Komponente nötig gewesen wäre, um die vorausgesetzte Wirkung zu erzielen.

4.3 In Connecticut wurde mit dem Quellzement eine 56 m lange und 4 m breite Versuchsplatte als Baumuster für eine geplante Straßendecke angelegt. Die Deckenplatte war längs mit Spanndrahtlitzen und quer mit Stäben aus Rippenstahl bewehrt. Die Dehnung der Decke betrug 0,27 %. Durch diese Dehnung wurden die Drahtlitzen auf Zug vorgespannt und der Beton unter Druckspannung gesetzt. Nach diesem Prinzip ist nunmehr im Herbst 1963 eine Versuchsstrecke im Zuge eines Straßenneubaues in Connecticut angelegt worden, über deren Verhalten offenbar noch kein Bericht veröffentlicht wurde.

4.4 Wenn auch die in den hier vorliegenden Veröffentlichungen bekanntgegebenen, lückenhaften Feststellungen und Messungen keine ausreichende Beurteilung erlauben, so scheinen doch die weiteren amerikanischen Absichten mit dem „selbst vorspannenden Beton“ anzudeuten, daß man sich von diesem Verfahren auf manchen Gebieten des Betonbaus einen Nutzen verspricht.

SCHRIFTTUM :

- [1] Spellman, D. L.: Living pavements. California Highways and Public Works 42 (1963) Nr. 9/10, S. 51/54.
- [2] Timms, A. G.: Self-stressing concrete. Modern Concrete 27 (1963) Nr. 5, S. 54/64.
- [3] Walz, K., P. Misch und H. H. Schönrock: Beton in den USA. Beton-Verlag, Düsseldorf 1962, S. 38/39; ebenso Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 30, Düsseldorf 1962, S. 38/39.
- [4] Klein, A., und G. E. Troxell: Studies of calcium sulfoaluminate admixtures for expansive cements. Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 58 (1958) S. 986/1008.

- [5] Klein, A., T. Karby und M. Polivka: Properties of an expansive cement for chemical prestressing. Proc. Amer. Concr. Inst. 58 (1961) S. 59/82.
- [6] Lin, T. Y., und A. Klein: Chemical prestressing of concrete elements using expanding cements. Proc. Amer. Concr. Inst. 60 (1963) S. 1187/1218.
— Referat von K. Walz in Schrifttumskartei Zement-Kalk-Gips 1963, Nr. XII, Bauverlag, Wiesbaden, S. 48.
- [7] Halstead, P. E.: Expanding and stressing cements. Kap. 15 in H. F. W. Taylor: The chemistry of cements, Bd. 2. Academic Press, London und New York 1964, S. 87/99.
- [8] Expansive cements opens era of new concretes. Chemical and Engineering News 42 (1964) Nr. 32, S. 38/39.
- [9] Self-stressing concrete pavement under study. Roads and Streets 106 (1963) Nr. 11, S. 64.