

# Untersuchung der Eigenschaften und der Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen mit schnell erhärtendem Beton (Schnellbeton) für die Instandsetzung von Betonfahrbahnen "unter Verkehr"

FA 8.167

Forschungsstelle: Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Werkstoffe des Bauwesens (Prof. Dr.-Ing. habil. M. Schmidt)

Bearbeiter: Teichmann, T.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: August 2004

## 1. Aufgabenstellung

Untersucht wurde ein Schnellbetonsystem für den schnellen Ersatz von Fahrbahnplatten unter Verkehr. Der Beton bestand aus einem trocken vorgemischtem Schnellbetongemisch des Herstellwerkes A, das aus Portlandzement, Fließmittel, Erhärtungsbeschleuniger und Gesteinskörnung bis zu einer Korngröße von 2 mm bestand. Ihm wurden örtlich vorhandene Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn von 16 mm und so viel Wasser zugemischt, dass der w/z-Wert etwa 0,41 betrug. Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wurden im Labor und bei Feldversuchen die Dauerhaftigkeitseigenschaften, die Entwicklung der Festigkeit unter verschiedenen Temperaturbedingungen - 3 °C, 20 °C und 30 °C im Labor sowie unter den jahreszeitlichen Bedingungen Frühjahr, Sommer und Winter in den Feldversuchen - untersucht. Im Labormaßstab wurde die Tragfähigkeit an Balken und an realitätsnahen Plattensystemen bei dynamischer Belastung untersucht.

## 2. Untersuchungsmethodik und -ergebnisse

Im Alter von 28 Tagen erreichten alle bei unterschiedlichen Temperaturen gelagerten Prüfkörper eine einheitliche mittlere Druckfestigkeit von rd. 75 N/mm<sup>2</sup>. Die bei 20 °C und 30 °C betonierten Prüfkörper erreichten bereits nach 24 Stunden eine Biegezugfestigkeit von rd. 5 N/mm<sup>2</sup>. Sie lag damit nur geringfügig unter derjenigen üblicher Straßenbaubetone nach ZTV Beton-StB. Bei 3 °C und bei den Feldversuchen wurde dieser Wert nach etwa 2 Tagen erreicht. Die höchste 28-d-Biegezugfestigkeit von rd. 7 N/mm<sup>2</sup> wiesen die Prüfkörper auf, die bei einer sehr niedrigen Temperatur von nur 3 °C hergestellt und gelagert wurden und deren Frühfestigkeit dadurch etwas verzögert wurde. Bei den anfänglich am schnellsten erhärtenden Proben, die bei 30 °C hergestellt und gelagert wurden, war sie mit maximal rd. 4,5 N/mm<sup>2</sup> am niedrigsten. Bei stereomikroskopischen und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen konnten Mikrorisse im Zementsteingefüge festgestellt werden, die sehr wahrscheinlich auf innere Gefügespannungen durch die Hydratationswärme zurückzuführen sind. Möglicherweise sind sie die Ursache für die vergleichsweise niedrige Biegezugfestigkeit der bei 30 °C hergestellten und gelagerten Prüfkörper.

Der Widerstand des ohne LP-Mittel hergestellten, sehr gefügedichten Betons gegen starken Frost- und Frost-Tausalz-Angriff wurde mit dem CIF- und dem CDF-Verfahren geprüft. Die maximal festgestellte Abwitterungsmenge von rd. 270 g/m<sup>2</sup>, eines im Alter von 12 h geprüften Betons, ist im Vergleich zu den jeweiligen Richtwerten sehr klein, d. h. der Widerstand des Betons ist ausreichend hoch. Die Abwitterungsmenge eines im Alter von 28 Tagen geprüften Betons ist mit rd. 132 g/m<sup>2</sup> nur noch halb so groß.

Bei den an die Praxisbedingungen angelehnten Plattenversuchen wurde ein simulierter Straßenaufbau mit einer Betondecke auf einer 15 cm dicken HGT 1 Mio. mal mit einer Oberlast von 50 kN belastet. Dies entspricht der üblichen Bemessungsradlast eines Lkw. Der Schnellbeton wurde mit oder ohne Fuge an eine zuvor ausgehärtete "Altbetonplatte" anbetoniert. Mit der Belastung wurde rd. 5 h nach dem Einbau begonnen, als der Beton eine Druckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> erreicht hatte. Die Schnellbetonplatten überstanden die Belastungen ohne sichtbare oder messbare Strukturveränderungen. Der Verbund in der Fuge zwischen dem Altbeton blieb erhalten.

Für die Untersuchungen der Festigkeitsentwicklung und des Verhaltens in der Praxis wurden im Frühjahr (5. 3. 2002), Sommer (25. 6. 2002) und Winter (26. 11. 2002) jeweils 3 Fahrbahnplatten auf der BAB A 7 in Höhe des Streckenkilometers 128 ersetzt. Von dem eingebauten Beton wurden vor Ort Proben entnommen und Prüfkörper für die Prüfung der Druck- und der Biegezugfestigkeit hergestellt. Zusätzlich wurden nach 1, 7, 28 und 360 Tagen Bohrkerne entnommen, an denen die Druck- und die Spaltzugfestigkeit bestimmt und die Temperaturentwicklung in den Platten und die Umgebungstemperatur gemessen wurden.

Der Beton, der im Sommer oder Winter eingebaut wurde, erreichte im Alter von 1 Tag bereits eine Druckfestigkeit von über 40 N/mm<sup>2</sup> und eine Spaltzugfestigkeit von über 3,6 N/mm<sup>2</sup>. Beim Frühjahrseinbau wurde dem Beton versuchsweise ein Verzögerer zugegeben, um die Verarbeitungszeit zu verlängern. Dies hatte zur Folge, dass nach 24 h nur eine Druckfestigkeit von 12 N/mm<sup>2</sup> und eine Spaltzugfestigkeit von 1,1 N/mm<sup>2</sup> erreicht wurden. Danach stiegen die Festigkeiten allerdings schnell an und erreichten nach rd. 1,5 d das Festigkeitsniveau der übrigen Einbautermine.

An den Platten selbst wurde die Festigkeitsentwicklung mit dem Rückprallhammer geprüft. Die Ergebnisse wurden mit den an Prüfkörpern gemessenen Festigkeiten verglichen. Nach 7 und 28 Tagen stimmten beide Ergebnisse ausreichend genau überein. Die Frühfestigkeitsentwicklung stellte sich jedoch sehr unterschiedlich dar. Die mit dem Rückprallhammer gemessene Festigkeit der Fahrbahnplatten steigt deutlich schneller an als bei den auf der Baustelle oder im Labor hergestellten Prüfkörpern. Dies dürfte auf die wesentlich größere Betonmasse in den Platten zurückzuführen sein, die sich während der Hydratation stärker erwärmt als die nicht isolierten, kleinen Prüfkörper. Im Sommer erreichte der Beton in den Platten bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C bereits nach rd. 4 Stunden eine Druckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup>. Im Labor wurde diese Festigkeit dagegen bei etwa gleichen Temperaturbedingungen erst nach rd. 6 h, bei den auf der Baustelle hergestellten Vergleichprüfkörpern sogar erst nach 10 h gemessen. Dies bedeutet zum einen, dass die Druckfestigkeitsentwicklung des eingebauten Betons am zutreffendsten an der Platte selbst mit dem Rückprallhammer geprüft wird, es bedeutet aber auch, dass die Festigkeitsentwicklung noch beschleunigt werden kann, wenn der eingebaute Beton bis zur Verkehrsfreigabe gegen Auskühlen geschützt wird.

Theoretische Berechnungen ergaben, dass die mit Schnellbeton hergestellten Betonplatten für den Verkehr freigegeben werden können, sobald – je nach Konstruktion des Fahrbahn-

aufbaus und in Abhängigkeit von der Höhe eventueller temperaturbedingter Wölbspansungen – eine Biegezugfestigkeit von mindestens  $2 \text{ N/mm}^2$  (Schnellbetonplatten auf HGT oder Verfestigung mit Verbund) oder  $3 \text{ N/mm}^2$  (Schnellbetonplatten auf ungebundener Tragschicht oder auf Geotextil) erreicht ist. Dies dürfte der Fall sein, sobald die Druckfestigkeit mindestens  $15 \text{ N/mm}^2$  (Biegezugfestigkeit  $\beta_{Bz} \approx 2 \text{ N/mm}^2$ ) oder  $20 \text{ N/mm}^2$  ( $\beta_{Bz} \approx 3 \text{ N/mm}^2$ ) überschritten hat.

Tabelle 1 zeigt, wann diese Druckfestigkeiten bei den Prüfkörpern und bei den Feldversuchen unter unterschiedlichen Temperaturbedingungen erreicht wurden.

**Tab. 1: Zeit bis zum Erreichen der Zieldruckfestigkeit von 15 bzw. 20 N/mm<sup>2</sup>**

Laboruntersuchungen			
Prüfkörper 150 mm Würfel	3 ° C	20 ° C	30 ° C
15 N/mm <sup>2</sup>	16 h	6 h	5 h
20 N/mm <sup>2</sup>	30 h	9 h	6 h
Felduntersuchungen			
Prüfkörper 150 mm Würfel	Winter, 9 ° C (nachts 0 ° C)	Frühjahr, 8 ° C + Verzögerer	Sommer, 21 ° C
15 N/mm <sup>2</sup>	9 h	10 h	7 h
20 N/mm <sup>2</sup>	11 h	15 h	10 h
20 N/mm <sup>2</sup> an der Plattenoberseite geprüft mit Rückprallhammer	5 h	6 h	4 h

### 3. Folgerungen für die Praxis

Um den Erfolg der Maßnahme sicherzustellen, sollte der Schnellbeton bestimmte Anforderungen erfüllen:

1. Schnellzemente auf Portlandzementbasis können aufgrund ihrer Zusammensetzung höhere Anteile an löslichen Alkalien enthalten als Normalzement nach DIN EN 197. Der Gehalt an löslichen Alkalien kann noch höher sein, wenn Erstarrungsbeschleuniger auf Basis von Natriumcarbonat verwendet werden. Um die Möglichkeit einer Alkali-Kieselsäurereaktion auszuschließen, sollte der Gesamtgehalt an Alkalien im Bindemittelcompound ein Na<sub>2</sub>O-Äquivalent von 1,50 M.-% nicht überschreiten. Der verwendete Sand und die groben Gesteinskörnungen sollten der Alkaliempfindlichkeitsklasse E I entsprechen. Die Unbedenklichkeit sollte in der Erstprüfung/Eignungsprüfung nachgewiesen werden. – Ein Nachweis ist nicht erforderlich, wenn das auf das Bindemittelcompound bezogene Na<sub>2</sub>O-Äquivalent 1,0 M.-% nicht übersteigt.
2. Die Frischbetontemperatur des Schnellbetons sollte 25 ° C nicht überschreiten und 10 ° C nicht unterschreiten.
3. Unmittelbar nach dem Einbau sollten ein wirksames Nachbehandlungsmittel und bis zur Verkehrsfreigabe zusätzlich eine Folie aufgebracht werden, um das Verdunsten von Feuchtigkeit möglichst vollständig zu verhindern. Dadurch werden zusätzliche austrocknungsbedingte Wölbspansungen vermieden und die Mikrorissbildung in Grenzen gehalten.
4. Der eingebaute Schnellbeton sollte bis zur Verkehrsfreigabe ggf. zusätzlich gegen Auskühlen oder Erwärmung durch Sonneneinstrahlung geschützt werden, z. B. durch isolierende Matten. Damit wird gleichzeitig die Erhärtung zusätzlich beschleunigt.
5. Die Festigkeitsentwicklung sollte mit dem Rückprallhammer geprüft werden, um den frühestmöglichen Zeitpunkt für die Verkehrsfreigabe festzustellen. □