

# Chemisches Schwinden des Oberbetons im Zweischichtsystem von Betonfahrbahndecken

FA 8.171

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl)

Bearbeiter: Huber, J.

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

Abschluss: Juni 2005

## 1. Einleitung

Um die zweischichtige Bauweise im Betonfahrbahndeckenbau effizienter zu gestalten, bietet sich der Einsatz von hochfesten Betonen für die obere Schicht (Oberbeton) an. Hierdurch sind verschleißfestere und gleichzeitig dünnere Schichten möglich, was sowohl den technischen als auch den wirtschaftlichen Anforderungen entspricht. Jedoch bestehen bei dieser Bauweise noch keine Kenntnisse bezüglich des Materialverhaltens der Schichten untereinander, da hochfeste Betone aufgrund ihres niedrigen Wasser/Bindemittel-Wertes und des durch Einsatz von Silikastaub feinerem Porenraumes charakteristische – im Vergleich zu Normalbeton erhöhte – Schwindverformungen zeigen. Dieser zusätzliche autogene Verformungsanteil, der aufgrund der so genannten Selbsttrocknung bei niedrigen w/b-Werten entsteht, kann zu höheren Spannungen und Verformungen im Gesamtsystem führen. Diese hängen vom zeitlichen Verlauf der autogenen Verformung des hochfesten Oberbetons, dem Verbund bzw. der Behinderung durch den Unterbeton und dem Relaxationsverhalten der beiden Schichten ab.

## 2. Untersuchungsmethodik

Nach einer Literaturrecherche wurden in der Literatur nicht vertieft untersuchte und den Betonstrassenbau betreffende Einflüsse auf die autogene Verformung von hochfesten Betonen in jungem Alter untersucht.

Im ersten Versuchsteil wurden die freie autogene Verformung, die behinderte autogene Verformung (Zwangspannungsentwicklung) in einem passiven Reißrahmen, sowie weitere mechanische Materialkennwerte, wie z. B. die zeitliche Entwicklung der Druck- und Zugfestigkeiten und des Elastizitätsmoduls bestimmt.

Ausgehend von diesen Kennwerten wurden im zweiten Versuchsteil zweischichtige Klein- und Großbalken hergestellt, an denen die resultierende Verformung gemessen wurde. Für die Auswahl der Oberbetone wurden die Erkenntnisse des ersten Versuchsteils verwendet.

Insgesamt wurden im ersten Versuchsteil in elf unterschiedlichen Mischungen die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Zementen (zwei CEM I 32,5 R (Werk A, B), ein CEM I 42,5 R (Werk A)), drei Fließmitteln/Betonverflüssigern mit unterschiedlicher Wirkstoffbasis (Polycarboxylatether, Melamin-Naphthalin-Sulphonat und Ligninsulfonat), unterschiedlichen Wasser-/ Bindemittel-Werten (0,30 und 0,35), unterschiedlichen Silikastaubgehalten (0 M.-%, 8 M.-% und 16 M.-%) und künstlich eingebrachten Luftporen (LP-Mittel) hinsichtlich der autogenen Verformung und der Zwangspannungsentwicklung der jeweili-

gen Oberbetone untersucht. Die Bindemittelmenge betrug bei allen Mischungen konstant 450 kg/m<sup>3</sup> für die Oberbetone bzw. 350 kg/m<sup>3</sup> für den Unterbeton. Der w/b-Wert betrug beim Unterbeton 0,45.

An den zweischichtigen Probekörpern wurde die Verformung (Stichmaß bzw. Abheben des Balkenendes) aus autogenem Schwinden gemessen. Zusätzlich wurden hygrische Einflüsse untersucht, indem die Balkenunterseite ab einem bestimmten Alter benässt wurde.

Die freie autogene Verformung wurde an dampfdicht verschlossenen, zylindrischen Probekörpern (d = 30 mm, l = 160 mm) ab dem Zeitpunkt des Erstarrens kontinuierlich bestimmt. Die aus der autogenen Verformung hervorgehende Zwangspannungsentwicklung wurde in passiven Reißrahmen (Abmessungen des Steges: 420 · 50 · 50 mm<sup>3</sup>) ermittelt. Die hierbei gemessenen Ergebnisse wurden um den rechnerisch ermittelten Behinderungsgrad erhöht, die dargestellten Spannungen stellen also eine maximale Beanspruchung des Betons dar.

Die Untersuchungen zur Verformung von Zweischichtsystemen (Schichtdickenverhältnis OB/UB = 4/22 cm) fanden an Kurzbalken (700 · 150 · 260 mm<sup>3</sup>) auf einem weichen Sandbett sowie für die Untersuchungen mit aktiviertem Eigengewicht an einseitig eingespannten Langbalken (2 500 · 150 · 360 mm<sup>3</sup>) auf einer steifen Unterlage mit einer Zwischenschicht aus saugfähigem Vlies statt. Über dieses Vlies wurden die Balken nach abgeschlossener Verformung aus autogenem Schwinden und Rückverformung aus Eigengewicht von unten bewässert.

## 3. Untersuchungsergebnisse

Die Messungen des freien autogenen Schwindens und der Zwangspannungsentwicklung ergaben bei allen verwendeten Zementen ein charakteristisches deutliches Quellen im Alter ab etwa 12 bis 48 Stunden nach Wasserzugabe (Bild 1).

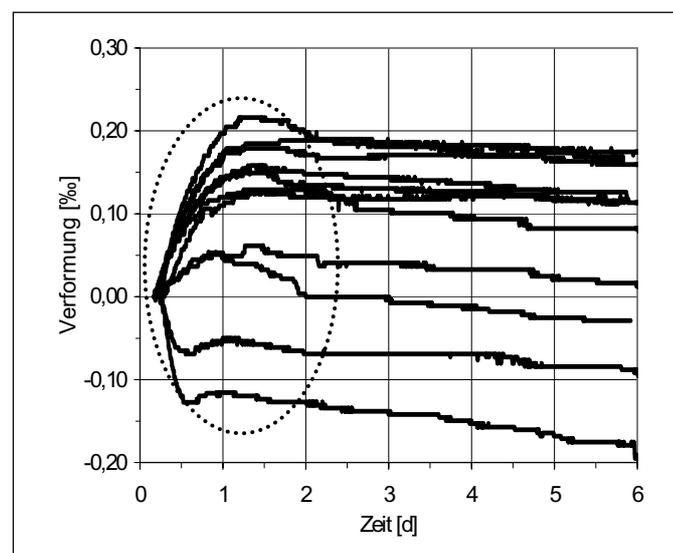
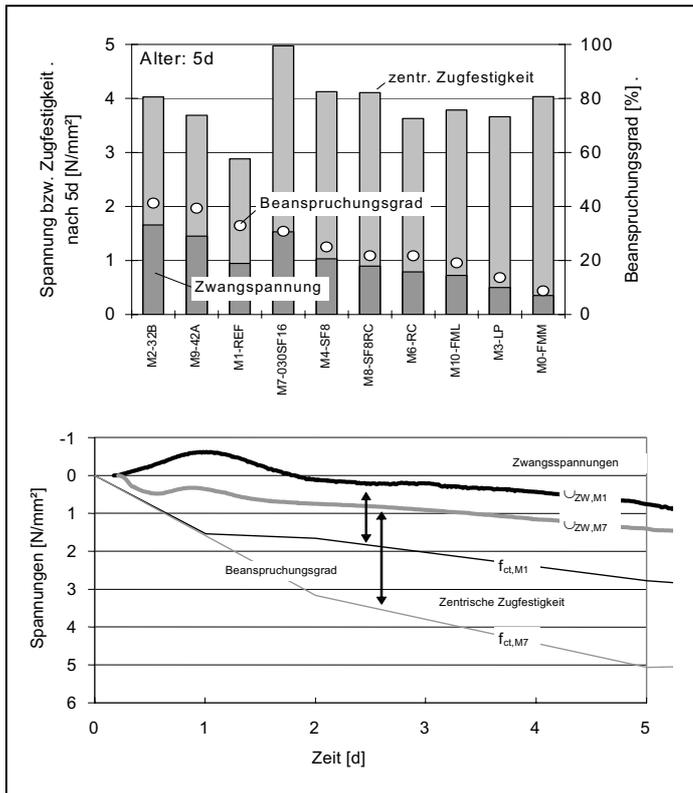
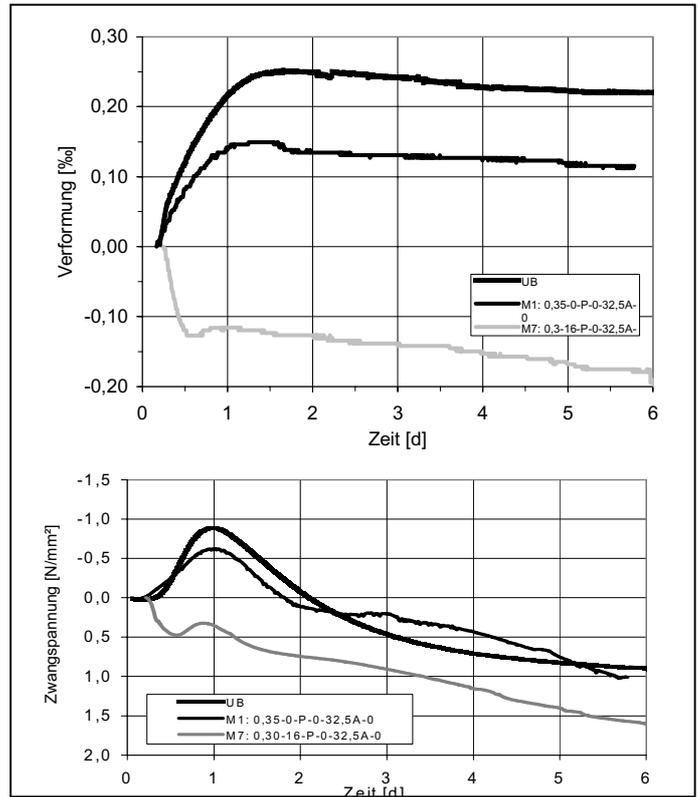


Bild 1: Autogenes Schwinden aller untersuchten Oberbetone



**Bild 2:** Beanspruchungsgrad der Oberbetone im Reißrahmen nach 5 Tagen (oben); zeitlicher Verlauf der Zwangsspannungen und Zugfestigkeit –Beispiel (unten)



**Bild 3:** Freie autogene Verformung (oben) und Zwangsspannungsentwicklung (unten) der Oberbetone M1 und M7 sowie des Unterbetons

Dies kann der starken Bildung von Trisulfat, welches mit einer Volumenausdehnung einhergeht, zugeschrieben werden. Durch die Überlagerung des autogenen Schwindens mit dem Quellen des Zementes wurden geringere Schwindverformungen als in der Literatur angegeben ermittelt. Im Alter von zwei Tagen erzeugt das autogene Schwinden in der bereits relativ steifen Zementsteinmatrix

Da die praktische Ermittlung von Materialkennwerten im Alter bis zu einem Tag sehr fehleranfällig ist und theoretische Ansätze die wirklichen Verhältnisse nur unzureichend beschreiben, wurde die Beanspruchung der Oberbetone aus den Reißrahmenversuchen in einem Alter von 5 Tagen ermittelt.

Hier zeigte sich, dass sich der Beanspruchungsgrad, das Verhältnis von Zwangsspannung zu zentraler Zugfestigkeit, nicht direkt den Betonen bzw. der Zusammensetzung zuordnen lässt. Ein höherer Beanspruchungsgrad in sehr jungem Alter wird durch das Quellen und den damit verbundenen Druckspannungen vermieden, (Bild 2, unten).

Aufgrund der Untersuchungen zum autogenen Schwinden und der Zwangsspannungsentwicklung wurden einige Oberbetone für die zweischichtigen Probekörper ausgewählt. Hier sind die Ergebnisse der Betone M1 (CEM I 32,5R – Werk A, w/b=0,35) und M7 (CEM I 32,5R – Werk A, w/b=0,30, 16 M.-% Silikastaub), sowie des Unterbetons (CEM I 32,5R – Werk A) dargestellt (Bild 3).

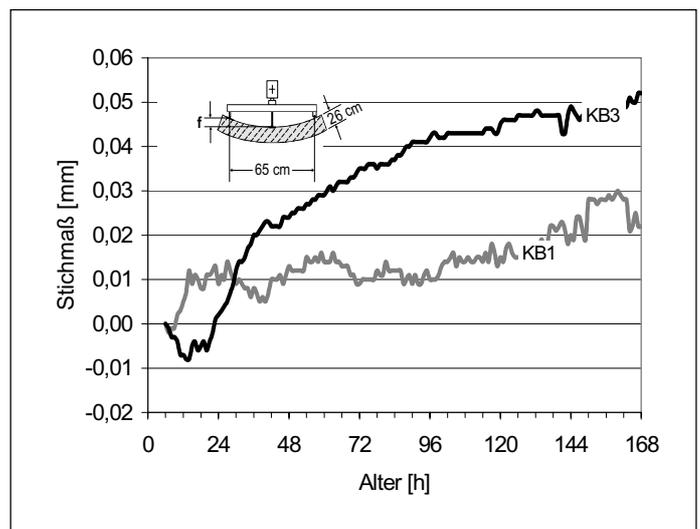
Diese Betone wurden sowohl für die Kurzbalken als auch für die Langbalkenversuche verwendet.

Aus den Ergebnissen ist zu erwarten, dass sich ein Aufschüsseln der frisch-in-frisch hergestellten zweischichtigen Probekörper einstellt, da der Unterbeton ein höheres Quellmaß zeigt als die Oberbetone.

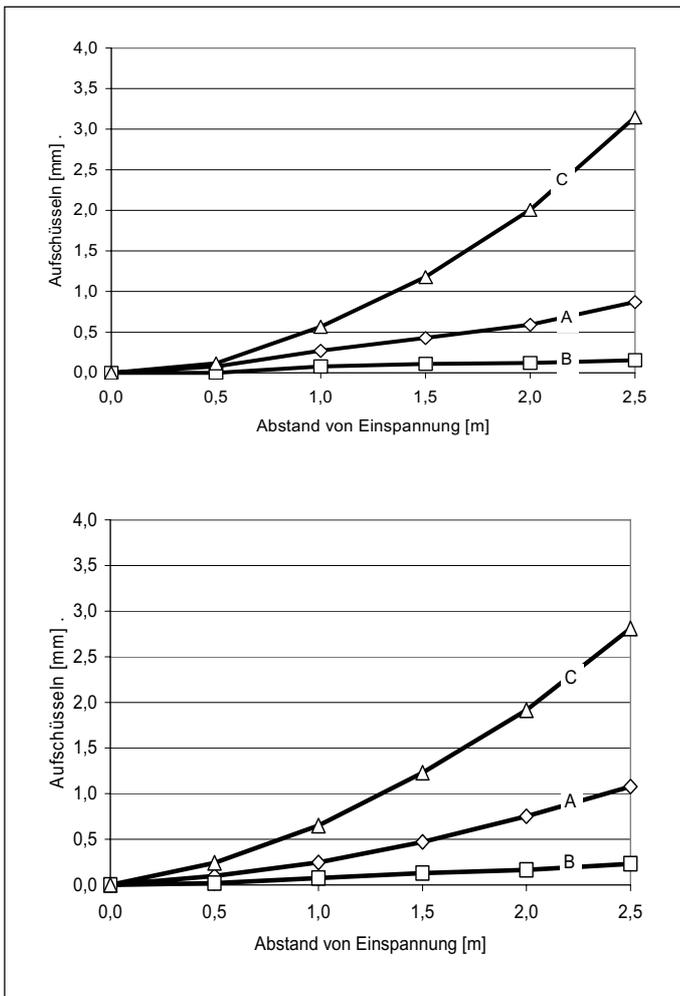
In Bild 4 ist das Stichmaß der Kurzbalken mit den Schichtkombinationen UB/M1 (= KB1) und UB/M7 (= KB3) im zeitlichen Verlauf dargestellt.

Bei der Kombination mit dem Silikastaub-haltigen Beton wurden höhere Verformungen gemessen als an dem Balken mit dem Oberbeton ohne Silikastaub. Dies ist auf die unterschiedlichen Einzelverformungen zurückzuführen (Bild 3).

Durch die weiche Bettung kann davon ausgegangen werden, dass das Eigengewicht des Betons nicht aktiviert wurde.



**Bild 4:** Gemessenes Aufschüsseln an zweischichtigen Kurzbalken



**Bild 5:**

**Verformungsfiguren der Balkenenden; Langbalken UB/M1 (Oben) und UB/M7 (unten)**

**(A) max. Verformung aus autogenem Schwinden (Alter ca. 2–3 d);**

**(B) min. Verformung durch Kriechen (70 d);**

**(C) max. Verformung durch Bewässern der Balkenunterseite (120 d)**

Hingegen zeigte sich an den identisch hergestellten Langbalken, dass sich in den ersten Tagen bei beiden untersuchten Schichtkombinationen (4/22) ähnlich hohe Verformungen einstellten (Bild).

Die maximale Verformung aus autogenem Schwinden stellte sich nach etwa 3 Tagen ein (A). Anschließend war ein deutliches Rückkriechen der Balken durch das aktivierte Eigengewicht und der noch nicht ausgeprägten Steifigkeit des Betons festzustellen. Das Abheben der Balkenenden betrug 0,8 bzw. 1,1 mm in jungem Alter, reduzierte sich jedoch im Alter von 70 d auf 0,2 bis 0,3 mm (B). Durch das Bewässern der Balkenunterseiten, einer Lagerung, die den Praxisverhältnissen entspricht, wurden Verformungen von etwa 3 mm erreicht (C). Im Verhältnis zu den hygri-schen Verformungen sind die Verformungen aus autogenem Schwinden als gering zu bewerten. Zudem werden sie durch die Kriechverformungen aus aktiviertem Eigengewicht zurückgebildet.

Insgesamt bestehen aufgrund der gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich des chemischen Schwindens keine Bedenken bezüglich des Einsatzes von dünnen hochfesten Oberbetonschichten (OB/UB = 4/22 cm) bei der zweischichtigen Bauweise im Betonfahrbahndeckenbau

