

Auswirkungen unterschiedlicher Eigenschaften von Ober- und Unterbeton auf die Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahndecken;

einschließlich Erweiterung:

Verhalten eines direkt befahrbaren Betons mit Recyclingzuschlag im Winter

FA 8.135/8.135 E

Forschungsstelle: Technische Universität München, Institut für Baukonstruktion und Baustoffe, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung und Prüfamtl für Bituminöse Baustoffe und Kunststoffe (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl)

Bearbeiter: Sodeikat, Ch.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: März 2000

1. Aufgabenstellung

Bis vor wenigen Jahren wurden in Deutschland überwiegend 22 cm dicke Betondecken mit 7 cm dickem Oberbeton eingebaut, d.h. 32 % der Betondecke besteht aus Oberbeton. Künftig wird im Unterbeton bei Grunderneuerungen vermehrt Recyclingzuschlag (RC-Betonzuschlag), der aus der alten Betondecke gewonnen wird, verwendet. Der Oberbeton soll, z.B. als Waschbeton oder als hochfester Beton, mit z.T. nur 4 bis 5 cm Dicke ausgeführt werden, d.h. nur noch rd. 15 bis 18 % der Betondecke würde aus Oberbeton bestehen. Bei so dünnen Schichten ist ein kleineres Größtkorn von 8 bzw. 16 mm und gleichzeitig ein etwas höherer Zementgehalt notwendig. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollte geklärt werden, ob sich extrem unterschiedliche Eigenschaften von Ober- und Unterbeton, insbesondere auch bei sehr dünnen Oberbetonen, negativ auf die Dauerhaftigkeit auswirken können.

2. Untersuchungsmethodik

Die Literatursichtung und Vorversuche ergaben, dass bei den neuen Bauweisen (Verwendung von RC-Betonzuschlag, Oberbeton mit Waschbetonoberfläche, hochfester Oberbeton) gegenüber herkömmlichen Straßenbetonen insbesondere Unterschiede in den feuchte- und temperaturbedingten Verformungen und Spannungen zu erwarten sind.

2.1 Feuchtebedingte Verformungen und Spannungen

Es sollte soweit wie möglich zwischen Verformungen unterschieden werden, die weitestgehend unbeeinflusst von Feuchtegradienten auftreten, und solchen, die an Probekörpern mit Feuchtegradienten gemessen werden.

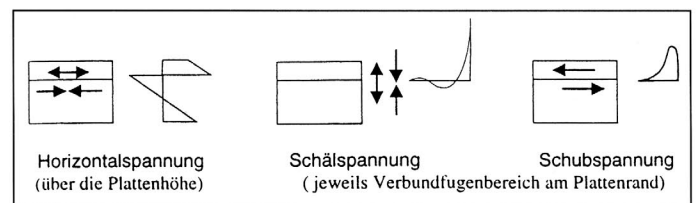
Feuchtebedingte Verformungen von Beton mit nur geringen Feuchteunterschieden über den Querschnitt (weitgehend unbeeinflusst von Eigenspannungen) wurden an Betonhohlzylindern untersucht (Höhe 300 mm, Außendurchmesser 150 mm, Wandstärke 40 mm, Klimalagerung im Alter von 1 Tag).

Feuchtebedingte Verformungen von Beton mit Feuchtegradienten über den Querschnitt wurden an ein- und zweischichtigen Betonvollzylindern, einseitig eingespannten Betonbalken von 2,50 m Kraglänge und im Sandbett aufliegenden Balken mit 70 cm Länge gemessen. Die Betonvollzylinder und -balken wurden seitlich dampfdicht abgedichtet, eine Feuchtigkeitsaufnahme bzw. -abgabe war nur an den Stirnflächen möglich (z.B. Wasser saugen an der Unterseite; Austrocknen an der Oberseite). Höhen und Dicken wurden variiert, die Klimalagerung erfolgte im Alter von 1 bzw. 2 Tagen. Anhand der an den Betonzylindern gemessenen Dehnungsgradienten wurden die entstehenden Spannungsgradienten rechnerisch abgeschätzt. Die Betonbalken dienen zur Erfassung des Aufschüsseln von Betonfahrbahnplatten, welches durch den linearen Anteil des Feuchte- bzw. Dehnungsgradienten hervorgerufen wird.

Untersucht wurde insbesondere der Einfluss des Zuschlags (E-Modul, Porosität, Feuchtezustand), der Lagerungsbedingungen, der Schichtdickenkombinationen von Ober- und Unterbeton und der Verwendung von Oberbeton mit Waschbetonoberfläche sowie hochfestem Oberbeton auf die Verformungen und Spannungen infolge von Feuchteänderungen.

2.2 Verformungen und Spannungen in Folge des Thermobimetalleffekts

Im Gegensatz zu einschichtigen Betondecken führen bei Ober- und Unterbetonen mit unterschiedlichen Wärmedehnzahlen auch gleichmäßige Temperaturänderungen über den Querschnitt zu Verwölbungen (Thermobimetalleffekt). Da sich Ober- und Unterbeton durch den gegenseitigen Verbund nicht frei verformen können, entstehen horizontale Spannungen. In Folge der Einleitung und Umlenkung der horizontalen Spannungen bzw. Kräfte in den Plattenendbereichen entstehen im Bereich der Verbundfuge Schubspannungen und Schälspannungen senkrecht zur Verbundfuge (Bild 1).



1: Spannungen in zweischichtigen Betonfahrbahnplatten in Folge des Thermobimetalleffekts

In Laborversuchen und mit analytischen und numerischen Berechnungen (Finite Elemente) wurde der Einfluss der Schichtdicken, der Wärmedehnzahlen, der E-Moduln und der Temperaturbelastung von Ober- und Unterbeton auf die entstehenden Verwölbungen und Spannungen untersucht.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Feuchteinflüsse

Das Schwinden von Beton ist um so größer, je größer die Porosität des Zuschlags ist. Größere Anteile an vergleichsweise porösem und wenig steifem RC-Betonzuschlag führen zu größeren feuchtebedingten Verformungen, insbesondere zu einem größeren Aufschüsseln von Betonfahrbahnplatten. Der Einfluss von RC-Betonzuschlag auf das Schwinden ist jedoch kleiner als der Einfluss eines von 0,42 auf 0,50 erhöhten Wasserzementwertes und eines um rd. 35 l erhöhten Wassergehaltes des Frischbetons.

Die Vorbefeuchtung von RC-Betonzuschlag führt in Folge des Eigenschwindens des kernfeuchten, d.h. bereits vorgequollenen Zuschlags zu einem größeren Schwinden des Betons. Längs- und Zugeigenspannungen entwickeln sich bei Verwendung von kernfeuchtem RC-Betonzuschlag früher und erreichen zeitweise annähernd doppelt so große Werte als bei Verwendung von trockenem RC-Betonzuschlag. Trockener RC-Betonzuschlag führt auf Grund des Eigenquellens des Zuschlags zu einem etwas größeren Quellen.

Oberbeton, der als Feinbeton (Körnung 0/8 mm; Zementgehalt von rd. 450 kg/m³) mit Waschbetonoberfläche hergestellt wird, weist ein deutlich größeres Schwinden auf als herkömmlicher Straßenbeton.

Das Schwinden und Quellen der Betone reichte im Untersuchungszeitraum von bis zu 450 Tagen in der Regel nur etwa 4 bis maximal 7 cm tief. In der Praxis werden Feuchteänderungen die Verbundfuge nur bei dünnen Oberbetonen erreichen.

Hochfester Oberbeton (Wasserbindemittelwert 0,30; Bindemittelgehalt 450 kg/m^3) wies ein deutlich größeres chemisches Schwinden auf als herkömmlicher Straßenbeton. In Abhängigkeit der zeitlichen Entwicklung des chemischen Schwindens, des E-Moduls und der Zugfestigkeit von Ober- und Unterbeton kann dies zu hohen Längs- und Schälspannungen (an den Plattenrändern), insbesondere im Unterbeton führen, vgl. Pkt 3.2.

Die Feuchtebedingungen an der Ober- und Unterseite von Betonfahrbahndecken bestimmen maßgebend die entstehenden Spannungen und Verformungen (Bild 2).

Lagerungsart	Luft/Luft	Luft/Dicht	Luft/Wasser
Gesamtspannungen			
Längsspannungen			
Biegespannungen			
Eigen- spannungen			
Aufschüsseln			

2: Einfluss der Lagerungsart auf Spannungen und Verformungen in Betonfahrbahndecken in Folge von Schwinden und Quellen.

- Beton, der an der Ober- und Unterseite austrocknet, weist die größten Längszugspannungen, geringsten Biegespannungen und größten Zugeigenstress auf.
- Beton, der an der Oberseite austrocknet und an der Unterseite Wasser saugt, weist die geringsten Längsspannungen, größten Biegespannungen (Aufschüsseln) und die geringsten Zugeigenstress an der Oberseite auf.
- Beton, der nur an der Oberseite austrocknet, liegt mit allen Spannungen und Verformungen zwischen den beiden anderen Lagerungsarten.

Die zweischichtige Bauweise führt zu geringeren Schwindspannungen im Oberbeton, falls der Unterbeton eine geringere Steifigkeit aufweist als der Oberbeton. Dies ist i.d.R. bei Unterbetonen mit RC-Betonzuschlag der Fall. Der Oberbeton wird dann weniger in seinem Schwinden behindert, seine Zwangsspannungen bleiben geringer (allerdings entsteht dadurch ein etwas

größeres Aufschüsseln). Betone, die in einschichtiger Bauweise nicht zu Schäden in Folge Schwinden geführt haben, werden auch in zweischichtiger Bauweise nicht zu Schäden führen, es sei denn, der Unterbeton ist steifer als der Oberbeton.

3.2 Temperatureinflüsse

Die entstehenden Spannungen (Längs- bzw. Horizontalspannungen, Schäl- und Schubspannungen) ändern sich im Randbereich von Betonfahrbahnplatten innerhalb von 20 bis 25 cm sehr stark und verlaufen anschließend nahezu konstant.

Nur die Differenz, nicht die absoluten Werte der Wärmedehnzahlen von Ober- und Unterbeton bestimmt die Größe der Verwölbung und der entstehenden Spannungen in Folge des Thermobimetalleffekts (neben der Größe der mittleren Temperaturänderung). Die Verwölbungen und Spannungen wachsen linear mit der Differenz der Wärmedehnzahlen an.

Bei praxisüblichen Schichtdickenkombinationen (Unterbeton dicker als Oberbeton) treten die geringsten Verwölbungen bei niedrigeren E-Moduln des Ober- und hohen E-Moduln des Unterbetons auf. Der Einfluss von Temperaturgradienten auf die Spannungen und Verwölbungen in Folge des Thermobimetalleffekts ist im Vergleich zu gleichmäßigen Temperaturänderungen über den Querschnitt gering.

Bei einer Reduzierung der Oberbetondicke führt der Thermobimetalleffekt

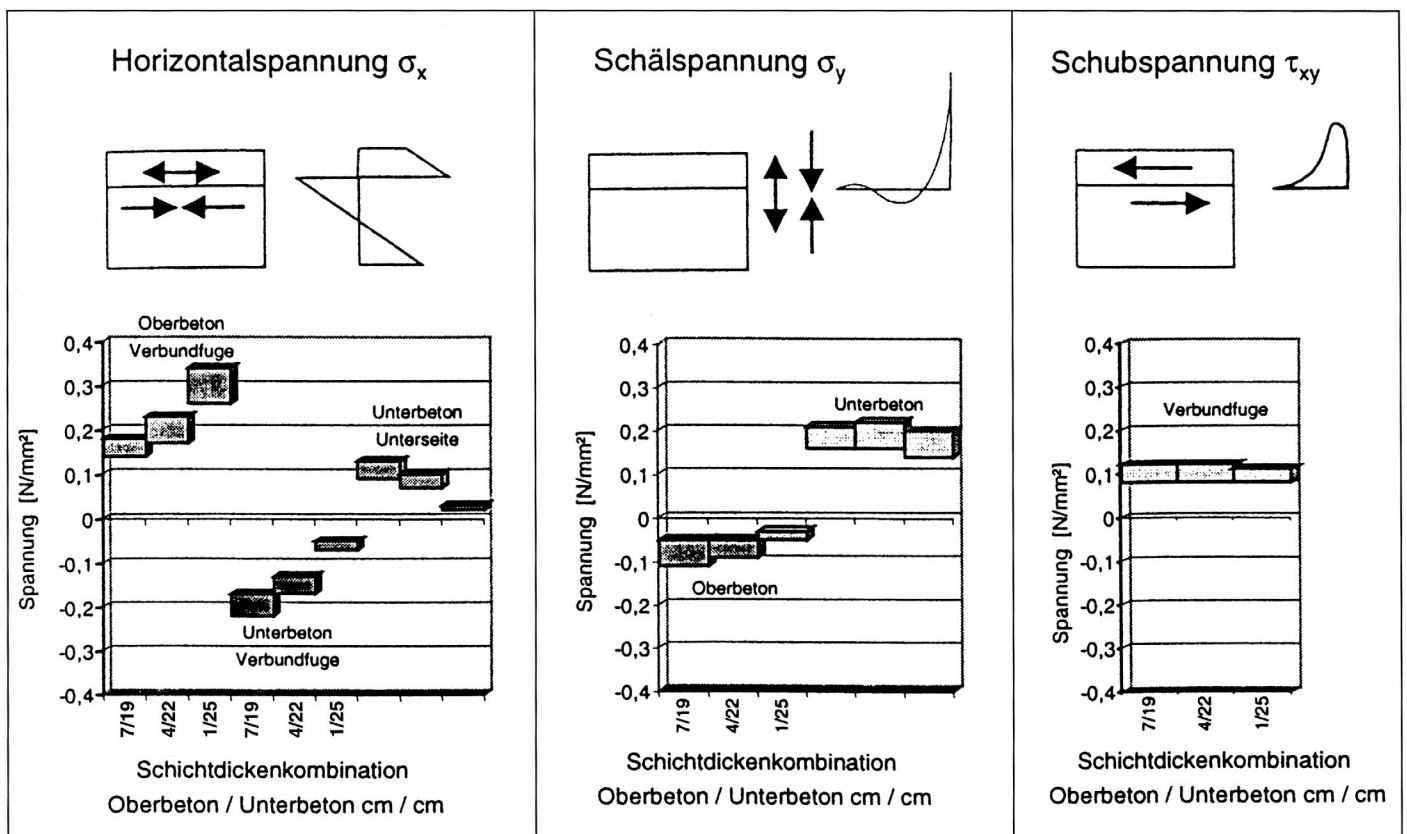
- im Oberbeton zu
 - deutlich größeren Horizontalspannungen,
 - geringeren Schälspannungen,
- im Unterbeton zu
 - deutlich geringeren Horizontalspannungen,
 - etwas geringeren Schälspannungen,
- zu geringeren Verwölbungen von Betonfahrbahnplatten,
- zu wenig veränderten Schubspannungen.

Bei Dicken des Oberbetons von unter 3 cm ist mit einem deutlichen Anstieg des allgemeinen Spannungsniveaus zu rechnen. Maßgebend werden dann die Horizontalspannungen im Oberbeton (Bild 3 Folgeseite).

Die größten Schälspannungen (Zug- bzw. Druckspannung) treten zumeist nicht in der Verbundfuge auf, sondern im Ober- bzw. Unterbeton, jeweils einige Millimeter ober- bzw. unterhalb der Verbundfuge. In der Verbundfuge selbst sind die Schälspannungen zumeist gering. Die Schälzugspannungen im Oberbeton sind bei aufgeschüsselten Betonplatten deutlich größer als die Schälzugspannungen im Unterbeton bei aufgewölbten Betonplatten. Schäden in Folge Schälspannungen in zweischichtigen Betondecken werden daher zuerst im Unterbeton auftreten.

Die maximal auftretenden Schälzug- und Horizontalzugspannungen in zweischichtigen Betondecken mit üblichen E-Moduln von Ober- und Unterbeton ($30\,000$ und $40\,000 \text{ N/mm}^2$) und Oberbetondicken größer 4 cm sind etwa gleich groß. Die Schubspannungen sind deutlich geringer. Schälspannungen treten im Gegensatz zu Horizontalspannungen nur in einem sehr kleinen Randbereich mit großen Spannungsgradienten auf, dies erhöht die aufnehmbaren Zugspannungen. Schäden in Betondecken in Folge des Thermobimetalleffekts sind deshalb am ehesten in Folge von Horizontalspannungen zu erwarten.

Horizontalspannungen aus dem Thermobimetalleffekt können durch Horizontalspannungen, z.B. Biegespannungen aus Verkehr und Temperaturgradienten, Eigenstress in Folge Nullspannungstemperaturgradienten und Schwinden und Quellen vergrößert werden. (Im Gegensatz dazu werden Schälspannungen nur durch Schwindspannungen überlagert.) Auf Grund der in Folge von Spannungsüberlagerungen entstehenden Spannungsgradienten der Horizontalspannungen wird für den Unterbeton die Betonbiegezugfestigkeit und für den Oberbeton die geringere zentrische Betonzugfestigkeit maßgebend.



3: Bereich der Horizontal-, Schäl- und Schubspannungen in Folge des Thermobimetalleffekts in Betondecken mit üblichen E-Moduln von Ober- und Unterbeton von jeweils 30 000 bis 40 000 N/mm². Spannungen jeweils bezogen auf einen Unterschied der Wärmedehnzahlen von Ober- und Unterbeton von + 0,1 · 10⁻⁵/K und einer Abkühlung um -10 K.

Ungünstig erscheinen insbesondere sehr dünne und steife Oberbetone mit deutlich größeren Wärmedehnzahlen als der Unterbeton, die im Sommer bei heißer Witterung betoniert werden und im darauffolgenden Winter abkühlen. (Die in den folgenden Wintern entstehenden Spannungen in Folge des Thermobimetalleffekts fallen auf Grund fortschreitender Spannungsrelaxation in der Regel geringer aus.)

4. Folgerungen für die Praxis

(1) Die neueren Bauweisen, Verwendung von RC-Betonzuschlag im Unterbeton und Oberbeton mit Waschbetonoberfläche führen zu größeren feuchtebedingten Verformungen und Spannungen, welche jedoch durch den zweischichtigen Aufbau, d.h. steifen Oberbetonen auf weniger steifen Unterbetonen, etwas gemindert werden. Feuchtebedingte Schäden, die ausschließlich auf die Verwendung von RC-Betonzuschlag bzw. Oberbeton mit Waschbetonoberfläche zurückzuführen wären, erscheinen unwahrscheinlich, in der Praxis sind auch keine entsprechenden Schäden bekannt geworden.

(2) Eine Reduzierung der Mindestdicke des Oberbetons von 7 auf 4 cm führt nicht zu einer Erhöhung des Spannungsniveaus in Folge von Feuchteänderungen bzw. in Folge des Thermobimetalleffekts. Bei Oberbetondicken kleiner als 3 cm entstehen im Oberbeton deutlich höhere Spannungen infolge des Thermobimetalleffekts.

(3) Es wird vorgeschlagen, bei Betondecken, die unter ungünstigen Witterungsbedingungen hergestellt werden (bei sehr hohen bzw. sehr niedrigen Temperaturen), die Unterschiede der Wärmedehnzahlen von Ober- und Unterbeton durch sorgfältige Auswahl entsprechender Mineralstoffe auf rd. 0,25 · 10⁻⁵/K, bei sehr dünnen Oberbetonen (weniger als 4 cm) auf rd. 0,20 · 10⁻⁵/K zu begrenzen.

(4) Bei hochfesten Oberbetonen können durch das große chemische Schwinden im Unterbeton hohe Schälzugspannungen hervorgerufen werden. Es erscheint sinnvoll, bis mehr Praxiserfahrungen vorliegen, den Wasserbindemittelwert nach unten auf rd. 0,30 bis 0,35 zu begrenzen. □