

# Labor- und Praxisuntersuchungen des Aufschüsselns und Aufwölbens ein- und zweischichtiger Betonfahrbahndecken mit Recyclingzuschlag

FA 8.149

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

Bearbeiter: Beckhaus, K. / Huber, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: März 2003

## 1. Einleitung

Feuchte- und Temperatureinwirkungen führen bei Fahrbahndecken aus Beton zu Verformungen und Spannungen, welche langfristig zu Schäden und damit einer Verminderung der Dauerhaftigkeit einer Betonfahrbahndecke führen können.

Ausgehend von dem während der Erhärtung eingepprägten Nullspannungstemperaturgradienten entstehen durch gegebene Feuchte- und Temperaturverhältnisse an der Ober- und Unterseite bzw. den sich daraus ergebenden Gradienten Verformungen der einzelnen Fahrbahnplatten. Ein Abheben der Plattenenden wird dabei im Allgemeinen als Aufschüsseln, ein Abheben der Plattenmitte als Aufwölben bezeichnet. Ein Aufschüsseln entsteht so z. B. durch Schwinden des Betons an der Oberseite und/oder Quellen an der Fahrbahnunterseite. Die resultierenden Verformungen und Spannungen hängen im Wesentlichen von den stofflichen (Wärme-, Feuchtedehnung, Wichte, Kriechen, Relaxation) und geometrischen Randbedingungen (Plattendicke, kritische Länge, Schichtenanzahl, Quersfugenausbildung) ab, wobei (Biege-)Spannungen im Beton durch Eigengewicht, Verkehrsbeanspruchung oder einer zusätzlichen Verformungsbehinderung (Zwang) etwa durch eine Kopplung der Einzelplatten in den Scheinfugen entstehen.

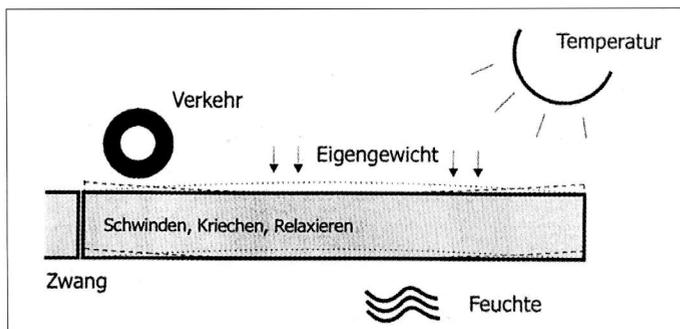


Bild 1: Schematische Darstellung der Einwirkungen und Verformungen einer Fahrbahnplatte aus Beton

Ein zweischichtiger Aufbau kann durch das unterschiedliche Materialverhalten von Ober- und Unterbeton das Verformen von Fahrbahnplatten und die Spannungsverteilung deutlich beeinflussen, da sich hierbei auch bei über den Querschnitt konstant verteilter Feuchte- oder Temperatureinwirkungen Verformungen bzw. Spannungen einstellen.

Wird eine verformte Platte durch Verkehr belastet, kann dies zu vertikalen Bewegungen am Plattenrand führen, was bei gleichzeitigem Vorhandensein von Wasser, welches z. B. durch undichte Fugen eindringt, zur Erosion der Tragschicht führen kann. Überschreiten die bei einer Überrollung auftretenden Spannungen die Biegezugfestigkeit des Betons, führt dies zu Rissen bzw. zum Bruch der Platte.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen werden beim Fahrbahndeckenbau immer öfter alte Fahrbahndecken rückgebaut und nach dem Brechen und Aufbereiten teilweise als RC-Betonzuschlag in neuen Fahrbahnen, vor allem im Unterbeton, wiederverwertet.

Versuchsweise wurden in Deutschland auch einschichtige Betondecken mit RC-Zuschlag hergestellt. In Untersuchungen wurde festgestellt, dass Beton mit RC-Zuschlag höhere Schwindverformungen als Normalbeton aufweisen kann.

Da wie bereits erwähnt bei zweischichtigen Fahrbahndecken der RC-Zuschlag im Unterbeton verwendet wird, ist das Verformungsverhalten durch unterschiedliches Materialverhalten bezüglich einer Feuchteeinwirkung in Ober- und Unterbeton abhängig vom Anteil des rezyklierten Materials, vergleichbar mit dem sogenannten Bi-Metalleffekt bei Temperatureinwirkungen.

## 2. Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Ziel des Forschungsvorhabens war die Untersuchung der Auswirkungen von RC-Zuschlag auf das Verformungsverhalten von Fahrbahndecken aus Beton.

Hierzu wurden verschiedene Autobahnen direkt nach der Herstellung und anschließend in regelmäßigen Abständen bezüglich ihres Verformungsverhaltens untersucht. Gleichzeitig mit den Verformungsmessungen wurde die Temperatur- und Feuchteverteilung in der jeweiligen Platte aufgezeichnet.

Die Messungen fanden zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten statt, um einen möglichst breiten Einfluss der Umgebungsbedingungen in der Praxis abzudecken.

Im Labor wurden Versuchsbalken nach den in der Praxis verwendeten Betonrezepten hergestellt, um Verformungen aus Schwinden und Quellen bzw. Temperatureinwirkungen isoliert betrachten und mit Praxismessungen vergleichen zu können.

## 3. Laboruntersuchungen

Im Labor wurden drei einseitig eingespannte Balken mit je 2,50 m freier Länge auf ihre Biegeverformung infolge Feuchte- und Temperatureinwirkung untersucht. Die Betone wurden mit den gleichen Ausgangsstoffen und mit der gleichen Mischungszusammensetzung wie in der Praxis hergestellt. Bei den zugehörigen Strecken handelte es sich um die A 5 (Höhe Heppenheim/Mannheim), die A 27 (Höhe Verden/Bremen) und die A 71 (Höhe Arnstadt/Erfurt).

Bei den Balken der beiden erstgenannten Strecken ("A 5" und "A 27") wurde RC-Zuschlag im Unterbeton verwendet, der Bal-

ken "A 71" wurde ebenfalls zweischichtig, aber ohne RC-Material, hergestellt.

## 3.1 Feuchte

Die Balken wurden für die Verformungsuntersuchungen infolge Feuchteänderungen über den Querschnitt verschiedenen Befeuchtungszyklen unterschiedlicher Dauer ausgesetzt (insgesamt fünf verschiedene Phasen). So wurde die Unterseite der Balken trocken (Phase I, bis 28 d), anschließend stets nass (Phasen II–V) gelagert. Die Oberseite war zunächst trocken (Phasen I und II, Klima 20°C/65 % r.F., 28+42 Tage), danach zyklisch feucht (Phase III, 5 Tage à 2 h nass/22 h trocken), danach nass (Phase IV, 9 Tage) und anschließend wieder 42 Tage trocken (Phase V) gelagert. Die zugehörigen Biegeverformungen (Aufschüsseln) wurden dabei kontinuierlich aufgezeichnet.

Die Feuchteänderungen im Querschnitt wurden im oberen und unteren Randbereich jeweils mit Multi-Ring-Elektroden qualitativ aufgenommen.

Das gemessene Aufschüsseln der Balken (am jeweiligen Balkenende) unter diesen extremen Laborbedingungen betrug nach stetigem Austrocknen über 70 Tage an der Oberseite bei gleichzeitig nasser Lagerung der Unterseite im Maximum 3,5 mm beim Balken "A 5". Das Aufschüsseln der beiden anderen Balken (mit und ohne RC-Zuschlag) unter denselben Bedingungen lag bei etwa 2,0–2,3 mm. Während der zyklischen Befeuchtung der Balkenoberseite reduzierte sich das Aufschüsseln aller Balken auf ein deutlich niedrigeres Niveau (etwa 1,2–1,7 mm) und verringerte sich während der anschließenden dauernden Bewässerung von oben nochmals auf 0,8–1,3 mm. Nach dem folgenden 42-tägigen Austrocknen der Oberseite lagen die vertikalen Verformungen am Balkenende bei 1,3–2,6 mm.

Eine eindeutige Abhängigkeit der Verformung vom RC-Zuschlag durch externe Feuchtezufuhr konnte in den Laborversuchen nicht nachgewiesen werden.

## 3.2 Temperatur

Für die Untersuchungen zum Temperatureinfluss wurden die (von unten kontinuierlich benässen) Balken auf der Oberseite mit Scherbeneis beaufschlagt. Ein Wasserzutritt wurde dabei ausgeschlossen. Die erreichten negativen Temperaturgradienten lagen zwischen  $-0,045$  und  $-0,065$  K/mm und riefen zusätzliche Verformungen zwischen 1,2 und 1,6 mm hervor. Im direkten Vergleich von Feuchte- und Temperaturverformungen lässt sich ausmachen, dass ein Balken, der auf der Unterseite ständig benässt ist und auf der Oberseite zyklisch befeuchtet wird, in etwa dieselbe Verformung erfährt wie durch einen (linearen) Temperaturunterschied von 15 K von Ober- und Unterseite ( $T_o < T_u$ ).

## 4. Praxisuntersuchungen

Für die Bestimmung der Plattenverformungen wurden mit Hilfe eines mobilen Lasermessgerätes Profile einzelner Fahrbahnplatten zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen und ausgewertet. Zusätzlich wurde jeweils die Temperaturverteilung bei Herstellung und bei den Messungen aufgezeichnet. Die wichtigsten Ergebnisse durch Vergleich der Verformungsmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den einzelnen Streckenabschnitten sind im Folgenden aufgeführt.

Die Betonfahrbahndecke der A 5 nahe Heppenheim ist im Abschnitt der Messungen in zwei Bereiche abhängig von der Tragschicht einzuteilen. In beiden zweischichtig hergestellten Abschnitten wurde Beton mit RC-Zuschlag im Unterbeton verwendet. Der erste Bereich liegt auf einer HGT mit einer Zwischenschicht aus Geotextil. Die sehr hohen Temperaturen bei der Herstellung führten nach dem Fugenschneiden und der Abkühlung in der darauffolgenden Nacht zu einem Reißen aller Querscheinfugen im Messbereich. Durch den positiven Temperaturgradienten bei der Erhärtung war bei den späteren Wiederholungsmessungen bei niedrigeren Temperaturen stets ein Aufschüsseln, also ein Abheben der Plattenenden, zu beobachten.

Die Ergebnisse der Messungen mit den eingebauten Multi-Ring-Elektroden zeigten, dass die Fahrbahn während der Untersuchungen offenbar auf einem durchfeuchteten Vlies lag. Die weit geöffneten Fugen, ein großer negativer Temperaturgradient und die Lagerung auf einem feuchten Vlies lassen eine große unbehinderte Biege-Verformung der Einzelplatten erwarten. Dieses freie und nur durch das Eigengewicht behinderte Aufschüsseln betrug bei den Messungen zwischen 1 und 2 Millimetern (Stichmaß).

Der zweite Abschnitt, bestehend aus dem gleichen Fahrbahndeckenbeton, lag auf einer Asphalttragschicht. Eine Verformungsmessung am Morgen nach der Betonage ergab keinerlei Verformung verglichen mit der Messung direkt nach dem Fugenschneiden. Aufgrund der Temperaturgradienten wäre ein leichtes Aufwölben zu erwarten gewesen. Eine Messung nach einem Jahr ergab ein Abheben der Plattenmitte um etwa 1,0 mm, leider waren zu diesem Zeitpunkt keine Temperaturdaten verfügbar, es kann aber angenommen werden, dass ein positiver Temperaturgradient vorlag.

Eine zweischichtige Normalbetonstrecke auf HGT mit einer Zwischenlage aus Geotextil wurde auf der A 71 nahe Arnstadt untersucht. Sie wies bei den durchgeführten Messungen sehr geringe Verformungen auf. Die bei den Untersuchungen ermittelten Verformungen lagen im Mittel bei 0,5 mm (Aufschüsseln). Dies dürfte vor allem auf den "neutralen" Temperaturgradienten während der Herstellung im Herbst und somit geringen wirksamen Gradienten bei den Wiederholungsmessungen zurückgeführt werden.

Ein weiterer Autobahnabschnitt mit RC-Zuschlag im Unterbeton auf HGT, die A 27 bei Verden/Bremen, zeigte ebenfalls ein Aufschüsseln bei den Wiederholungsmessungen. Dieses wurde (trotz der positiven linearen Anteile der jeweils wirksamen Temperaturgradienten) im Mittel zu 1,0 bis 1,5 mm (Aufschüsseln) bestimmt.

Auf einer weiteren Bundesautobahn ohne RC-Zuschlag, einem Streckenabschnitt der A 92 bei Eching, die in einschichtiger Bauweise mit Normalbeton auf HGT ausgeführt wurde, wurde ebenfalls ein Aufschüsseln von etwa 2 mm gemessen. Dies dürfte hier wieder eindeutig zum Großteil auf den wirksamen Temperaturgradienten (in Abhängigkeit von der Erhärtungstemperatur) zurückzuführen sein.

Ein Abschnitt der A 44 Nähe Soest mit einem hochfesten Straßenbeton (B65) auf Asphalttragschicht wurde ebenfalls in die Untersuchungen einbezogen. Hier wurden Daten eines einzelnen Tages mit großen Temperaturunterschieden ausgewertet. Die Untersuchungen ergaben kein messbares Aufschüsseln der Platten, weil diese offensichtlich durch eine konstante Erwärmung überdeckt waren.

## 5. Folgerungen

In den durchgeführten Untersuchungen konnte keine signifikante Abhängigkeit des Verformungsverhaltens vom im Unterbeton verwendeten RC-Zuschlag festgestellt werden – weder an den untersuchten Laborbalken aus unterschiedlichen Betonen noch an den Betonfahrbahnplatten auf Streckenabschnitten in der Praxis. Die gemessenen Verformungen lassen sich zum größten Teil durch die jeweils wirksamen Temperaturgradienten begründen, welche sich aus dem Temperaturgradienten bei Erhärtung und dem jeweiligen aktuellen Gradienten ergeben.

Ein Aufwölben der gemessenen Fahrbahnplatten wurde nur selten festgestellt. Der Grund dürfte hier in einem meist positiven Temperaturgradienten während der Erhärtung (eingepägt durch eine Herstellung bei warmem Wetter) liegen. Unabhängig vom RC-Zuschlag im Beton konnte kein signifikanter Einfluss der jeweiligen Tragschicht oder der ein- oder zweischichtigen Bauweise auf das Verformungsverhalten in der Praxis festgestellt werden.

Die Gründe, warum sich das tatsächlich höhere hygrische Verformungsvermögen von Beton mit RC-Zuschlag nicht in einer signifikant höheren Biegeverformung in der Praxis wiederfindet, dürften insbesondere folgende sein:

Das beim Aufschüsseln (z. B. infolge stetigen Quellens an der Plattenunterseite) aktivierte Eigengewicht bewirkt durch Krie-

chen einen Verformungsabbau bzw. die Verformungsmöglichkeit ist bei einem geringen Abstand der Platten untereinander eingeschränkt (Zwang).

Die Feuchtebedingungen an der Oberseite sind in der Praxis nicht stetig trocken, wie üblicherweise in den Laborversuchen mit konstanter Luftfeuchte von 65 % r.F.

Neben einer in der Praxis tatsächlich höheren Luftfeuchte spielt zudem der Regen eine wichtige Rolle, wie in den Laborversuchen durch zyklische Befeuchtung der Balkenoberseite bestätigt werden konnte.

Da der Fahrbahnbeton Regenwasser schnell adsorbiert, aber anschließend nur sehr langsam wieder austrocknet, sind die hohen Schwindwerte, die im Labor oft nach mehrwöchigem Austrocknen bestimmt wurden, für Fahrbahndeckenbeton nicht anzusetzen. Eine feuchte Betonoberfläche wirkt einem möglichen Aufschüsseln (z. B. infolge Abkühlung von oben) entgegen.

Insgesamt können die in den Praxisuntersuchungen gemessenen Verformungen durchweg als gering betrachtet werden. Das in den Laborversuchen gemessene höhere Aufschüsseln muss vor allem den Versuchsbedingungen im Labor zugeschrieben werden, die in der Praxis so nicht gegeben sind. □