

Gebrauchsverhalten von Betonfahrbahnen mit Recyclingzuschlag

FA 8.153

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

Bearbeiter: Huber, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn

Abschluss: März 2003

1. Aufgabenstellung

1.1 Allgemeines

Die Wiederverwertung von altem Fahrbahndeckenbeton in neuen Betonfahrbahndecken findet auf Grund ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte immer größere Akzeptanz. Bei dieser Bauweise wird der alte Fahrbahnbeton gebrochen und als rezyklierter Betonzuschlag hauptsächlich im Unterbeton zweischichtiger Betonfahrbahndecken wieder verwendet. Da diese Technologie erst in den letzten Jahren vermehrt zum Einsatz kam, kann auf keine längere Erfahrung im Umgang mit RC-Strecken zurückgegriffen werden. Daher müssen Informationen über das Gebrauchsverhalten von Betonfahrbahndecken mit RC-Betonzuschlag gesammelt werden, um diese Bauweise bezüglich ihrer Dauerhaftigkeit bewerten zu können.

1.2 Vorgehen

Anhand von Begutachtungen und Messungen an bereits mit RC-Betonzuschlag hergestellten Betonfahrbahndecken sollen die Gebrauchstauglichkeit der RC-Bauweise überprüft werden. Hierzu wurden bereits hergestellte Betonfahrbahndecken in regelmäßigen Abständen augenscheinlich auf Zustand und Aussehen (der Oberfläche) untersucht. Die unter realen Bedingungen auftretenden Verformungen der Betonfahrbahndecken wurden an einzelnen Platten mit einem Lasermessgerät und über mehrere längere Streckenabschnitte mittels HRM (High-Speed Road Monitoring), welches im Rahmen der ZEB (Zustandserfassung und -bewertung der Bundesfernstraßen) zur Anwendung kommt, bestimmt. Zeitgleich wurde für die Bewertung der Verformungen die Feuchte- und Temperaturverteilung in den Platten ermittelt. Aus den Daten der HRM-Längsprofilmessungen wurden die absoluten Plattenverformungen ermittelt und auf eine Systematik untersucht. Die Messungen mit dem Lasermessbalken dienen der Feststellung von Relativverformungen zwischen zwei Zeitpunkten.

1.3 Ziel

Durch die Untersuchungen an Fahrbahndecken aus Beton mit rezyklierten Zuschlägen kann das Verformungsverhalten nach längerer Liegezeit beurteilt werden. Dies dient als Grundlage zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit. Die in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse sollen als Basis für die Fortschreibung des "Merkblatts zur Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken" dienen.

2. Versuchsbeschreibung

2.1 Verformungsmessungen, Bestimmung von Temperatur und Feuchte

Für die Verformungsmessungen kamen zwei Verfahren zum Einsatz. Die Längsprofilmessung mittels HRM wurde für die Auswertung der absoluten Plattenverformungen verwendet. Hierbei zeichnet ein schnell fahrendes Fahrzeug das Längsprofil einer Strecke mit einem Messpunktabstand vom 10 cm auf.

Diese Daten wurden auch für eine Analyse von systematischen Plattenverformungen (z. B. regelmäßiges Aufschüsseln einzelner Platten) herangezogen. Zwar erfolgt die Messung nur ungefähr in der rechten Rollspur, durch das Erfassen langer Abschnitte mit vielen Platten lassen sich aber dennoch statistisch abgesicherte Aussagen treffen. Für die Bestimmung der relativen Plattenverformung zwischen zwei Messzeitpunkten kam ein sog. Lasermessbalken zum Einsatz. Dieser ermöglicht es, durch den engen Messpunktabstand ein einzelnes Plattenprofil genau zu erfassen. Zudem kann sichergestellt werden, dass jeweils exakt dieselbe Messlinie vermessen wird. Zeitgleich zu den Verformungsmessungen wurden die Feuchte in den Fahrbahnplatten über den elektrischen Widerstand mittels eingebauter Sensoren (Multi-Ring-Elektroden) und die Temperaturverteilung über die Querschnittshöhe mittels PT 100-Thermodrähten gemessen.

2.2 Auswerteverfahren

Für die Analyse der Längsunebenheiten wurde auf die Fast-Fourier-Transformation (FFT) zurückgegriffen. Mithilfe dieser lässt sich eine unbekannte Funktion durch die Summe von Sinuswellen unterschiedlicher Wellenlänge und Amplitude darstellen (Bild 1). Das Ergebnis dieses Verfahrens lässt sich als Wellenlängen-Amplituden-Spektrum (WAS) darstellen. Zur besseren Erkennung werden die diskreten Werte mit Linien verbunden (Bild 2).

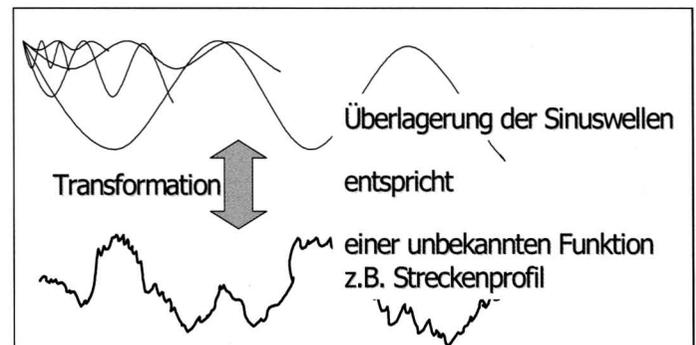


Bild 1: Schematische Darstellung FFT

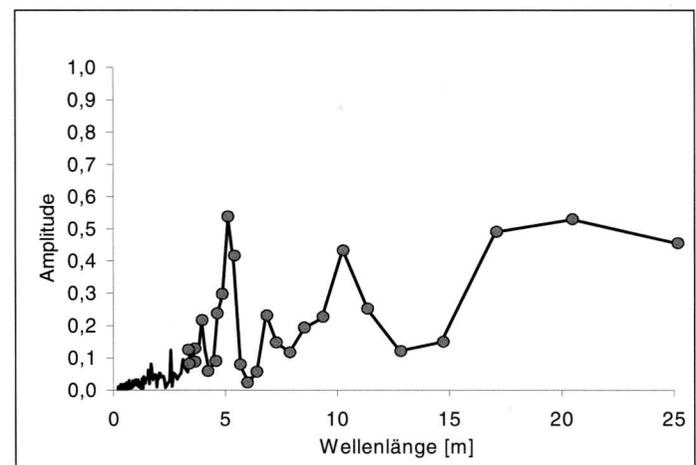


Bild 2: Beispiel WAS

Große Amplituden im Wellenlängenbereich um 5 Meter lassen auf eine Einzelplattenverformung (Aufschüsseln, Aufwölben) schließen. Längere Wellen sind meist mit höheren Amplituden verbunden.

Bei den Einzelplattenmessungen wird jeweils die Differenz zweier Messlinien betrachtet, also die relative Verformung zwischen zwei gemessenen absoluten Profilen.

2.3 Streckenauswahl

Um eine gute Vergleichbarkeit der Messungen gewährleisten zu können, wurde ein einzelner durchgehender Autobahnabschnitt ausreichender Länge (55 km) auf der A 27 gewählt, da sich in diesem Bereich durchgehend RC-Beton-Fahrbahn-

decken befinden. Die einzelnen Lose wurden von unterschiedlichen Firmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt und ähneln sich im Decken- und Tragschichtaufbau – einzig ein Bereich wurde einschichtig hergestellt. Alle Abschnitte unterliegen denselben Verkehrsbelastungen und klimatischen Randbedingungen.

Tab. 1 zeigt eine Übersicht der einzelnen Lose. In den letzten drei Abschnitten fanden die Einzelplattenmessungen statt (Messstellen A, B und C).

Tab. 1: Streckenabschnitte auf der BAB A27 (FR Cuxhaven) km 0,500 bis km 55,300

Betriebskilometer	Baujahr	Fahrbahnenndicke	RC-Zuschlag in	Tragschicht Art, Dicke	Bemerkung
1	2	3	4	5	6
0,500–6,200	2001	26 cm	Unterbeton	HGT ¹ , 30 cm	
6,200–18,400	2000	26 cm	Unterbeton	HGT ¹ , 20 cm	
18,400–21,800	1994	26 cm	Unterbeton	HGT, 20 cm	
21,800–26,900	1995	26 cm	Unterbeton	HGT ¹ , 20 cm	
26,900–35,700	1995	26 cm	Unterbeton	HGT ¹ , 20 cm	Messst. A
35,700–49,500	1993	26 cm	(einschicht.)	HGT ¹ , 30 cm	Messst. B
49,500–53,300	1994	26 cm	Unterbeton	HGT ¹ , 30 cm	Messst. C

¹Nach ZTV V mit Teersand [1]

2.4 Messtermine

Die bezeichneten Streckenabschnitte wurden jeweils am Morgen und gegen Mittag an zwei Terminen ("Winter" und "Sommer") untersucht, um sowohl tageszeitliche als auch jahreszeitliche Einflüsse zu erfassen.

3. Ergebnisse

3.1 Temperatur und Feuchte

Die Temperaturverläufe an den beiden Messterminen im Winter und im Sommer unterschieden sich nur in der absoluten Höhe um etwa 15–20 °C, der zeitliche Verlauf und der sich einstellende Gradient waren sehr ähnlich. Dies ermöglicht einen guten Vergleich der jeweiligen Messungen. In den Bildern 3 und 4 sind die gemessenen Temperaturen im Winter zu den Messungen am Morgen und mittags über die Querschnittshöhe und die Zerlegung in einen konstanten, einen linearen und einen "Eigen"-Anteil dargestellt.

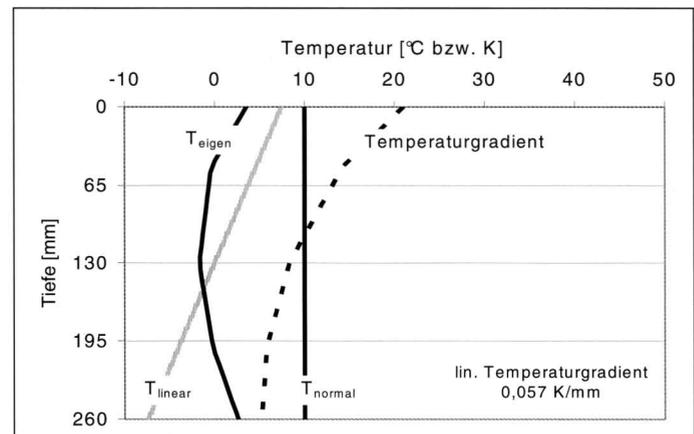


Bild 4: Temperaturverteilung und -zerlegung; Wintermessung mittags

Der Feuchtegehalt des Betons kann über den el. Widerstand abgeschätzt werden. Die Bilder 5 und 6 zeigen die mittels MRE gemessenen Verläufe im Sommer.

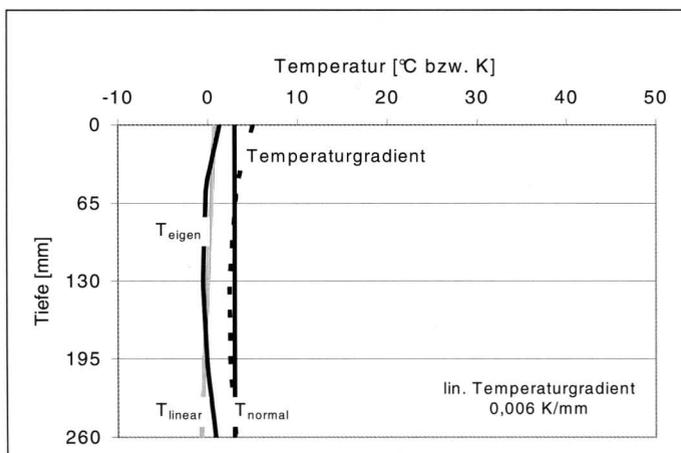


Bild 3: Temperaturverteilung und -zerlegung; Wintermessung früh

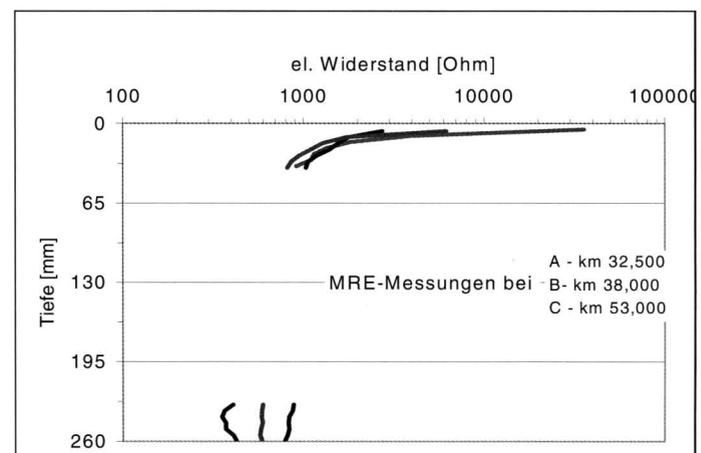


Bild 5: el. Widerstand an Plattenober- und -unterseite; "Sommer früh"; Messstellen A, B und C

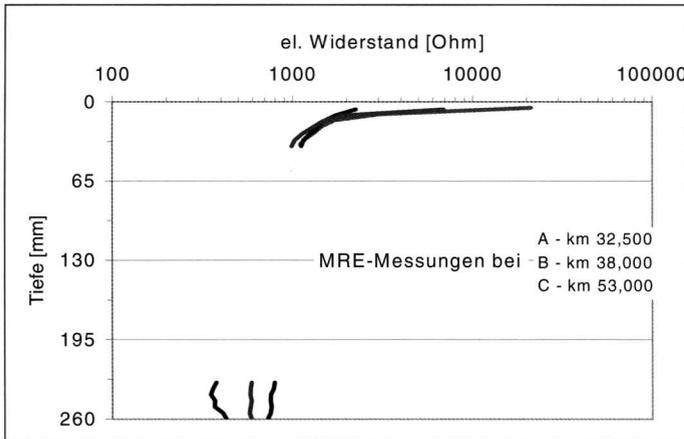


Bild 6: el. Widerstand an Plattenober- und -unterseite; "Sommer mittags"; Messstellen A, B und C

Der trockene Randbereich auf der Oberseite ist deutlich zu erkennen, dieser reicht bis in ca. 4 cm Tiefe. Auf der Unterseite der Platte können feuchte Verhältnisse angenommen werden.

4. Verformungen

4.1 HRM-Längsprofil

In den folgenden Diagrammen (Bilder 7–10) sind jeweils das Längsprofil und das Wellenlängen-Amplituden-Spektrum eines 100 Meter langen Abschnittes zum Messzeitpunkt "Winter früh" und "Winter mittags" dargestellt.

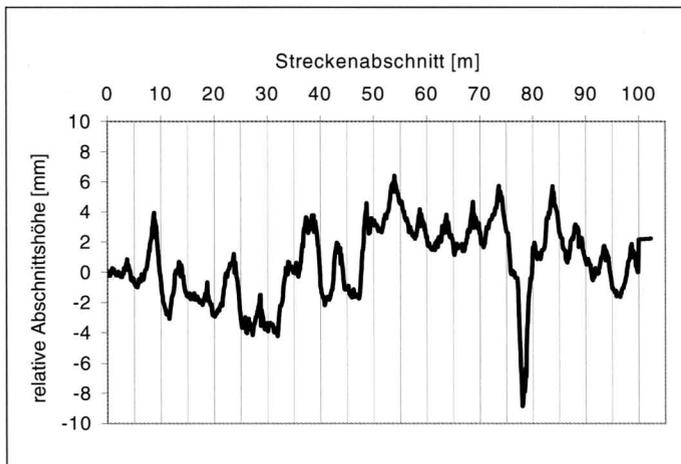


Bild 7: Längsprofil km 32,500 bis km 32,600; Messzeitpunkt "Winter früh"

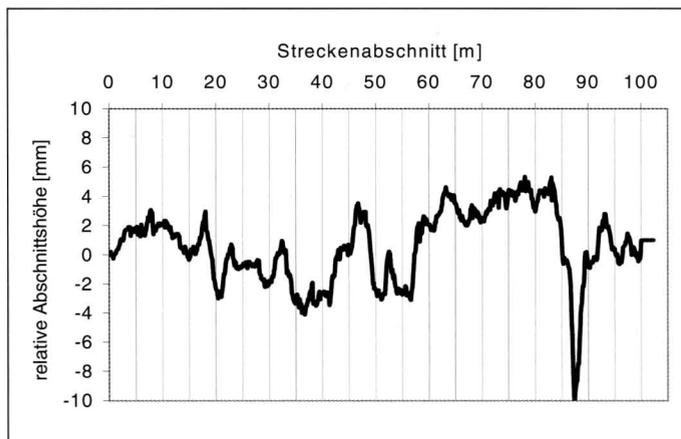


Bild 8: Längsprofil km 32,500 bis km 32,600; Messzeitpunkt "Winter mittags"

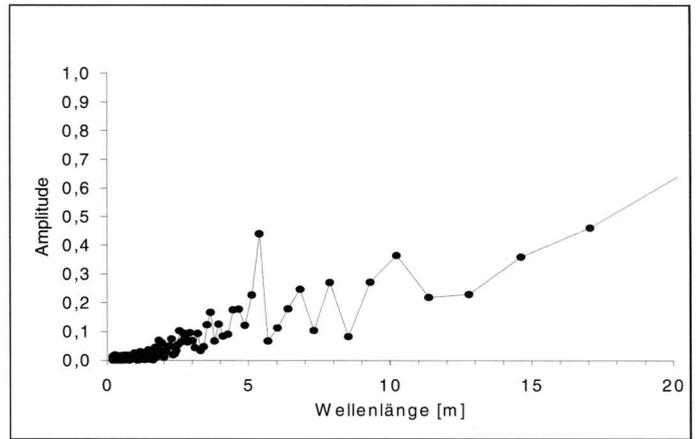


Bild 9: Wellenlängen-Amplituden-Spektrum km 32,500 bis km 32,600; Messzeitpunkt "Winter früh"

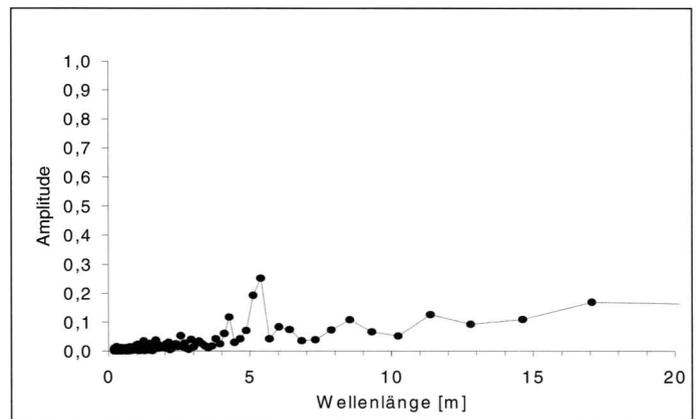


Bild 10: Wellenlängen-Amplituden-Spektrum km 32,500 bis km 32,600; Messzeitpunkt "Winter mittags"

Zum Messzeitpunkt "Winter früh", bei einem geringen linearen Temperaturanteil über die Querschnittshöhe, ist ein deutliches Aufschüsseln zu erkennen, das bei der Messung "mittags" nach einer einseitigen Erwärmung von oben um 0,05 K/mm (linearer Anteil) deutlich reduziert ist. Dies ist auch im Wellenlängen-Amplituden-Spektrum zu erkennen. An einem 100 Meter langen Abschnitt mit großen Amplituden im 5-Meter-Bereich (zwischen km 49,500 und km 49,600) wurde das Aufschüsseln im Mittel am Morgen zu 2,7 mm und gegen Mittag zu 1,7 mm bestimmt. Dies entspricht einer Abnahme um 40 %.

Insgesamt sind auf sehr vielen Bereichen des gemessenen Streckenabschnittes systematische Wellenbildungen im Bereich der Plattenlängen zu erkennen.

Im *ersten Abschnitt* (km 00,000 bis km 06,200) ist bei einer konstanten Temperaturverteilung über die Plattenhöhe am Morgen vereinzelt ein geringes Aufschüsseln ab km 02,000 zu erkennen, das sich durch die Plattenverformung bei der einseitigen Temperaturerhöhung von oben am Mittag zurückbildet. Im *zweiten Abschnitt* (km 06,200 bis km 18,400) sind die Plattenverformungen im Plattenlängenbereich am Anfang des Abschnittes bei der "früh"-Messung gering, bzw. nur an einzelnen Abschnitten feststellbar, ab km 10,000 systematisch und deutlich erkennbar. Auch diese Verformungen bilden sich durch den positiven Temperaturgradienten am Mittag größtenteils wieder zurück. Insgesamt ist dieser Streckenteil auf Grund des Wellenlängen-Amplituden-Spektrums als "eben" und einheitlich im kurzen Wellenlängenbereich zu bezeichnen. Im *dritten, relativ kurzen Abschnitt*, zwischen km 18,400 und km 21,800 gibt es im Plattenlängenbereich kaum "signifikant unebene" Streckenteile. Zwischen km 21,800 und 26,900 bzw. km 35,700 (Deckenauf-

bau und ausführende Firma waren dieselben) zeigte sich folgendes Bild: ab km 21,800 war das Aufschüsseln am Morgen gering, mäßige Plattenverformungen konnten am Morgen zwischen km 23,000 und km 24,000 gemessen werden. Zwischen km 23,800 und 28,100 ist eine deutliche Amplitude bei etwa 10 bis 11 Metern zu erkennen, die in derselben Höhe am Mittag noch vorhanden war. Ab km 28,000 dominieren am Morgen wieder Amplituden um 5 Meter Wellenlänge, nachmittags dagegen sind diese von geringerer Ausprägung. Im *folgenden Abschnitt* (km 35,700 bis km 49,500) kann ab km 38,800 eine Verformung von Einzelplatten (Aufschüsseln) festgestellt werden. Dies ist am Morgen deutlicher erkennbar als am Mittag. Eine Ausbildung von 10-Meter-Wellen ist nur in geringem Maße feststellbar. Im *letzten* untersuchten *Abschnitt* von km 49,500 bis km 55,300 sind ebenfalls 5-Meter-Wellen höherer Amplitude vorhanden, morgens stärker als mittags.

4.2 Einzelplattenmessungen

Bei den Messungen an einzelnen Platten wurden die Ergebnisse der HRM-Auswertungen bestätigt. An den drei gemessenen Stellen (km 32,500, km 38,000 und km 53,000) lag die Relativverformung bei etwa 0,5 bis 1,0 mm (Bild 11).

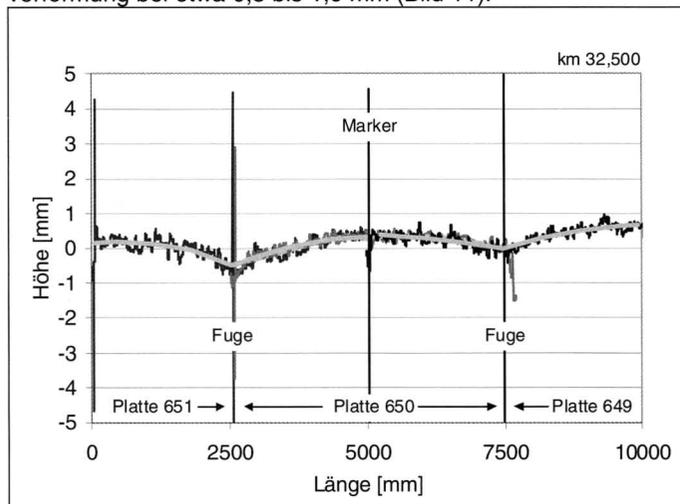


Bild 11: Relativverformung einer Platte bei km 32,500 zwischen den Messzeitpunkten "mittags" und "früh" (Wintermessung)

Ein Vergleich der Plattenverformungen zwischen den Messzeitpunkten "Winter früh" und "Sommer früh" zeigte keine Relativverformung, die Absolutverformung der Platten war zu diesen Zeitpunkten also identisch.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das Verformungsverhalten von Betonfahrbahndecken mit RC-Zuschlägen untersucht. Hierzu wurde das Längsprofil eines ca. 55 Kilometer langen Autobahnabschnittes der BAB A27 mittels Laserdistanzmessungen zu verschiedenen Zeitpunkten analysiert.

Die Streckenabschnitte wurden in ein- und zweischichtiger Bauweise mit RC-Zuschlägen zu unterschiedlichen Zeitpunkten von unterschiedlichen Herstellern gefertigt und unterliegen gleichen Klima- und Verkehrsbedingungen. Die Tragschicht (HGT mit Teersand nach ZTV V) ist jeweils vergleichbar und unterscheidet sich nur in der Mächtigkeit. Die Liegezeit beträgt zwischen zwei und zehn Jahren.

Um sowohl tages- als auch jahreszeitliche Einflüsse umfassend abzudecken, wurde zu zwei Messzeitpunkten ("Winter" und "Sommer") jeweils am Morgen ("früh") und am frühen Nachmittag ("mittags") das Längsprofil mittels HRM (High-Speed Road Monitoring) über den gesamten Streckenbereich erfasst. Zeitgleich wurden Einzelplatten mittels eines sog. Lasermessbalkens an drei ausgewählten Messstellen vermessen. Die Temperaturen über die Plattenhöhe und die Feuchteverteilung in den oberflächennahen Betonbereichen wurden ebenfalls mittels eingebauter Sensoren aufgezeichnet. Mittels der HRM-Messungen konnte ein großer Streckenbereich abgedeckt werden. Der Messpunktabstand liegt technisch bedingt bei etwa 10 cm. Zudem kann nicht sichergestellt werden, dass bei den Wiederholungsmessungen exakt derselbe Weg vermessen wird. Deshalb waren genaue Einzelplattenmessungen mittels Lasermessbalken notwendig. Hierbei beträgt der Messpunktabstand etwa 1 mm, die Messlinien können hierbei genau eingemessen werden. Für eine statistische Auswertung sind die HRM-Daten jedoch ausreichend.

Eine augenscheinliche Begutachtung der einzelnen Streckenabschnitte zeigte keine systematischen auf RC-Zuschlag zurückzuführenden Auffälligkeiten. Die Verformungsmessungen mittels Lasermessbalken zeigten ein relatives Aufwölben, also ein Abheben der Plattenmitten, von maximal einem Millimeter beim Vergleich der Profile "mittags" mit "früh". Beim Vergleich der Winter-Messungen mit jenen im Sommer (jeweils am Morgen) zeigte sich keine signifikante Verformung. Sowohl im Winter als auch im Sommer lag am Morgen eine relativ konstante Temperaturverteilung in den Platten vor (linearer Anteil ca. 0,01 K/mm), mittags hingegen durch die Erwärmung der Luft und durch Sonneneinstrahlung ein starker positiver ($T_o > T_u$) linearer Gradient (ca. 0,06 K/mm). Dies kann als Grund für die gemessene relative Plattenverformung angesehen werden. Die Auswertung der HRM-Längsprofile bestätigte dies.

Insgesamt lässt sich beim Vergleich den RC-Strecken untereinander keine Tendenz bezüglich der Verformung erkennen. Die Abschnitte mit geringerer Liegezeit (2–3 Jahre) zeigen keine Unterschiede zu den Abschnitten mit bis zu 10 Jahren Liegezeit. Auch der Unterschied zwischen einschichtigen und zweischichtigen Deckenaufbauten ist nicht signifikant. Die Relativverformungen, im Mittel bei etwa einem Millimeter, können als insgesamt sehr niedrig eingestuft werden. Im FA 8.149 [2] wurden bei den Praxismessungen Relativverformungen bis etwa zwei Millimeter festgestellt und dies sowohl an Normalbetonstrecken als auch an Streckenabschnitten mit RC-Zuschlag im Unterbeton.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sich Fahrbahndecken aus Beton mit RC-Zuschlag bezüglich ihres Verformungsverhaltens nicht ungünstiger verhalten als Fahrbahndecken ohne RC-Zuschlag.

Literaturverzeichnis

- [1] FGSV, Köln; Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen im Straßenbau (ZTV V-StB 81); 1981; Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [2] Huber, J.: FA 8.149: Labor- und Praxisuntersuchungen des Aufschüsseln und Aufwölbens ein- und zweischichtiger Betonfahrbahndecken mit Recyclingzuschlag; Forschungsbericht, Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München; 2003