

Durchgehend bewehrte Betondecke

FA 8.176

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen (Prof. Dr.-Ing. G. Leykauf)

Bearbeiter: Leykauf, G. / Birmann, D. / Meier, S.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: November 2005

1. Allgemeines

In Deutschland hat sich die Bauweise mit durchgehender Bewehrung bisher trotz der damit vorliegenden positiven Erfahrungen bei der Festen Fahrbahn auf den Neubaustrecken der DB AG sowie einer ca. 1 km langen Versuchsstrecke bei Stockheim im Straßenbau nicht durchsetzen können. Die Ursache hierfür ist insbesondere in den zusätzlichen Kosten für die Bewehrung und den Aufwand für den lagegerechten Einbau zu sehen.

Bei den Investitionskosten ist nicht nur der geringere Aufwand für die entfallende Fugenherstellung zu berücksichtigen, sondern auch die geringere Deckendicke, die nach internationalen Praktiken mit 10 bis 20 % gegenüber der konventionellen Bauweise mit unbewehrten Platten angesetzt wird. Diese Dickenabminderung wird bisher empirisch aus dem bei der durchgehend bewehrten Betondecke nicht vorliegenden "Lastfall Fuge" abgeleitet.

Den höheren Investitionskosten sind jedoch bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung gegenüber zu stellen:

- die Möglichkeit, einen lärmmindernden oder griffigkeitsverbessernden dünnen Belag aufzubringen,
- die Möglichkeit der Verlängerung der Liegedauer durch eine dünne Asphalt-Überbauung ohne die Gefahr einer Reflexionsrissbildung im Asphalt wegen der geringen Rissöffnung in Verbindung mit der hervorragenden Querkraftübertragung im Rissbereich,
- der geringere Erhaltungsaufwand (Entfall der Fugenpflege).

Eine durchgehend bewehrte Betondecke mit gesteuerter Rissbildung und elastischer Plattenkoppelung kam in Deutschland erstmals 1966 an einer Werkstraße und 1974 an einer Autobahn zur Anwendung, eine durchgehend bewehrte Betondecke mit freier Rissbildung wurde im klassifizierten Straßenbau in Deutschland erstmals 1997 im Hocheinbau eingebaut. Als Tragplatte verschiedener Feste-Fahrbahn-(FF-)Systeme hat sich die durchgehend bewehrte Betondecke auf hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT) als Standard bewährt.

Bei einer durchgehend bewehrten Betondecke entstehen infolge von Schwinden und Abkühlen durch die behinderte Verformung Zugspannungen in der Betondecke. Diese führen im jungen Alter zur Rissbildung in der Betondecke, wenn die maximal aufnehmbaren Spannungen überschritten werden. Durch die durchgehende Längsbewehrung nahe der Querschnittsmitte werden nach Auftreten eines Risses Zugspannungen übernommen, jedoch keine Verkehrslastspannungen aufgenommen (Bild 1). Anzustreben ist eine Rissbreite $\leq 0,5$ mm und ein mittlerer Rissabstand, bei dem noch eine ausreichende, ungestörte Plattenwirkung gegeben ist und "punch outs" vermieden werden. Dadurch erhält man eine gute Rissverzahnung der Betonflanken und in Verbindung mit der Dübelwirkung der Längsbewehrung im Riss eine wirkungsvolle Querkraftübertragung. Eine Querbewehrung dient der Sicherung evtl. auftretender Längsrisse. Die Querbewehrung kann ausgeführt werden

- als Gitterträger für die Auflagerung der Längsbewehrung (Versuchsstrecken an der B 56 und der A 5, Großprüfstand),
- durch Einrütteln der Betonstäbe bis zur bereits verlegten Längsbewehrung.

In einer theoretischen Modell-Untersuchung wurde der Einfluss der verschiedenen maßgebenden Parameter auf die zu erwartenden Rissabstände und Rissbreiten untersucht [1].

In Laborversuchen wurde unter definierten Temperaturbedingungen an schmalen, ca. 7 m langen durchgehend bewehrten Betonplattenstreifen der Einfluss der Bewehrung auf die sich einstellende Rissbildung untersucht. Dabei wurden die auftretenden Dehnungen und Verformungen gemessen [2].

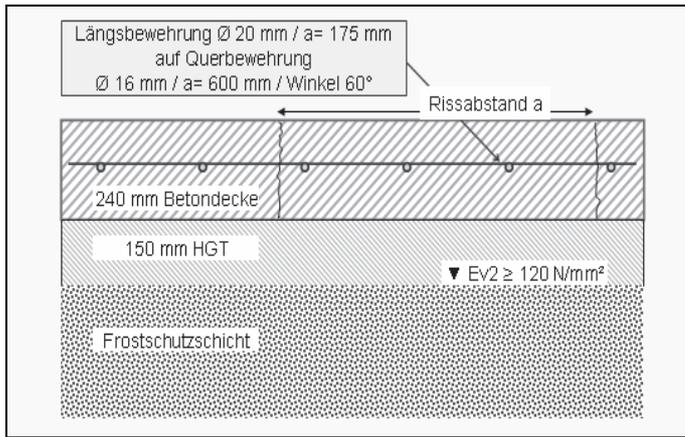


Bild 1: Aufbau einer durchgehend bewehrten Betondecke für die Bauklasse SV im Längsschnitt, Bewehrungsgrad der Längsbewehrung = 0,75 %

2. Untersuchungsmethodik

Im Rahmen einer umfassenden Literaturstudie wurden die internationalen Erfahrungen von durchgehend bewehrten Betondecken erfasst und ausgewertet.

Daran schloss sich die Untersuchung über den Einfluss der maßgebenden Parameter auf die zu erwartenden Rissabstände und Rissbreiten an. Anhand der Methode der Finiten Elemente wurde eine vergleichende Bemessung einer durchgehend bewehrten Betondecke zu der Bauweise mit kurzen Platten durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Querkraftübertragung im Bereich der Querrisse bzw. der Querscheinfugen wurde unter Einwirkung von Temperaturgradienten und Verkehrsbelastung die Beanspruchung der unterschiedlichen Systeme ermittelt. Die durchgehend bewehrte Betondecke unterscheidet sich neben höherer Wirksamkeit der Querkraftübertragung im Riss durch Plattenlängen entsprechend der zu erwartenden Rissabstände zwischen 0,5 und 3,0 m. Bei der Bauweise mit durchgehender Bewehrung wird durch die im Vergleich zur Plattenbreite kurzen Rissabstände in Längsrichtung die Beanspruchung in der Querrichtung maßgebend.

Tabelle 1: Versuchsparameter für die drei durchgehend bewehrten Betonplattenstreifen im Großprüfstand

	Plattenstreifen 1	Plattenstreifen 2	Plattenstreifen 3
Beton	C 30/37		
Deckendicke	240 mm	240 mm	240 mm
Betonstahl	BSt 500 S, gerippt nach DIN 488		
Bewehrungsgrad μ	0,75 %	0,75 %	0,76 %
Nenn Durchmesser	20 mm	20 mm	16 mm
Stababstand der Längsbewehrung	175 mm	175 mm	110 mm
Höhenlage der Bewehrung unter FOK	0,38 · h = 90 mm	0,50 · h = 120 mm	0,50 · h = 120 mm
Plattenbreite	875 mm	875 mm	896 mm

In einem Großprüfstand wurde an drei durchgehend bewehrten Betonplattenstreifen (ca. 24 x 87 x 700 cm) der Einfluss der Bewehrung auf das sich einstellende Rissbild (Rissabstände und Rissbreiten) untersucht. Dabei wurde der Durchmesser Ø 16 mm (Platte 3) bzw. Ø 20 mm und die Höhenlage der Bewehrung Ø 20 mm (Platten 1 und 2) bei gleichem Bewehrungsgrad von 0,75 % variiert (Tabelle 1, Bild 3 und Bild 4). Der konstruktive Aufbau des Plattenstreifens 2 entspricht dem Aufbau der Versuchsstrecke an der A 5 bei Darmstadt.

Vor dem Betonieren bzw. im Frischbeton wurden Messeinrichtungen zur Dehnungsmessung im Betonstahl unter einer Kerbe sowie 40 cm daneben, der Temperatur, der Kerbenöffnung sowie der Längsbewegung der Plattenenden installiert. Zur Anwendung kam ein Beton der Festigkeitsklasse C 30/37.

3. Versuchsergebnisse

Die theoretischen Untersuchungen zeigen, dass das Rissbild, also die angestrebten Rissabstände und die Rissbreiten, im Wesentlichen von folgenden Parametern abhängt:

- Größe und zeitliche Entwicklung der zentrischen Zugfestigkeit des Betons,
- sich einstellende Stahlspannung im Rissquerschnitt,
- Bewehrungsgrad.

Der Einfluss der Bodenreibung ist äußerst gering und kann auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt werden, da daraus geringere Rissabstände und in der Folge kleinere Rissbreiten resultieren.

Für einen praxisrelevanten Bewehrungsgrad zwischen 0,60 % (Mindestwert zur Unterschreitung der Streckgrenze) und 0,90 % stellt sich ein minimaler Rissabstand von 0,60 m ein.

Bei dem Ablauf der Versuche im Großprüfstand sind Versuchsphasen zu unterscheiden, die sich im Wesentlichen durch die über die Längsbewehrung aufgebrachte Zugkraft sowie durch Abkühlen mit Trockeneis und Erwärmungszustände mit Heizstrahlern unterscheiden. Versuchsphasen ohne Zugkraft entsprechen dem Zustand im Sommer, wenn die Risse überdrückt sind. Beim Abbinden des Betons erreichten die Betontemperaturen ein Maximum zwischen 29 °C und 30 °C, die Temperaturen in der Prüfhalle lagen gleichbleibend bei ca. + 20 °C.

Erste Querrisse wurden im Alter von 2 Tagen an den Kerben nach Aufbringen einer rechnerischen Betonzugspannung von ca. $\sigma_1 = 0,7 \text{ N/mm}^2$ beobachtet. Weitere Risse sind nach einer Laststeigerung im Alter von 5 Tagen aufgetreten (Bild 2). Das Rissbild bei Abschluss der Versuche zeigt, dass – ohne Berücksichtigung der Krafteinleitungslänge – der mittlere Rissabstand 1,1 bzw. bei Platte 2 mit geringerer Betonzugspannung 1,9 m beträgt. Die zuerst gerissene Kerbe weist die größte Rissbreite von 0,35 bis 0,40 mm unter Zugspannung auf und arbeitet unter Zugbelastung stärker als die später entstandenen, weniger geöffneten Risse mit einer Rissbreite von bis zu 0,2 mm. Ein Einfluss der Lage der Querbewehrung auf das Ausbilden oder den Verlauf von Querrissen (senkrecht zur Achse) konnte nicht festgestellt werden, wie die Projektion der eingemessenen Querrisse auf die fotografische Darstellung der Längs- und Querbewehrung vor dem Betonieren zeigt. Durch eine abschließende Zugkrafteinleitung im Alter von 188 Tagen konnte ein mittlerer Rissabstand von 0,4 bis 0,5 m erzielt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: mittlerer Abstand der Risse (> 0,1 mm Rissbreite auf ganze Plattenbreite), bezogen auf "Plattenlänge minus 2 x 0,7 m Lasteinleitungslänge"

Platte-Nr.	Platte 1	Platte 2	Platte 3
Bewehrung	5 Ø 20 mm hochliegend	5 Ø 20 mm	8 Ø 16 mm
mittlerer Rissabstand [m] bei Versuchsende Phase H	1,1	1,9	1,1
mittlerer Rissabstand [m] nach Zugversuch Phase I	0,43	0,51	0,40

Nach den Untersuchungen in [1]] kann der Rissbildungsprozess für die bei durchgehend bewehrten Betondecken im Straßenbau üblichen Nenndurchmesser mit ausreichender Genauigkeit abhängig vom Bewehrungsgrad beschrieben werden, ohne hinsichtlich Stabdurchmesser und Stababstand zu unterscheiden. Bei konstantem Bewehrungsgrad führt ein zunehmender Durchmesser zu größeren Rissabständen und Rissbreiten aufgrund der abnehmenden Verbundfläche zwischen Bewehrungsstahl und Beton. Unabhängig vom Stabdurchmesser kann bei der Dimensionierung der Bewehrung ab einem Bewehrungsgrad von 0,60 % ein Überschreiten der Streckgrenze f_{yk} des Bewehrungsstahls (BSt 500 S) ausgeschlossen werden. Damit werden klaffende Risse vermieden.

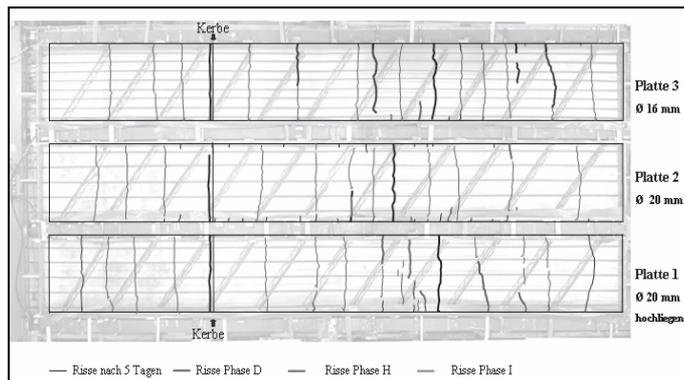


Bild 2: Rissentwicklung in vier Versuchsphasen und Lage der Längs- und Querbewehrung

Das vorgesehene Abkühlen und Erwärmen der durchgehend bewehrten Betonplattenstreifen von oben erzeugte einen extremen negativen Temperaturgradienten zwischen Ober- und Unterseite von - 0,09 K/mm, bei einem dreimaligen Erwärmen – mit Pausen dazwischen – wurde ein positiver Temperaturgradient von + 0,10 K/mm erreicht. Durch diese z. T. extremen Temperaturbelastungen wurde keine zusätzliche Rissbildung in den Betonplattenstreifen festgestellt.

Durch eine Vertikalbelastung mit einem gummibereiften Belastungswagen von ca. 1 t Radlast konnte im Alter von 21 Tagen keine zusätzliche Rissbildung erzielt werden (Bild 5).

Bei einer statischen Rissrandbelastung wurde die Querkraftübertragung an der ca. 0,4 mm weit geöffneten Kerbe der drei Platten sowie am Rissrand von weiteren, zwischen 0,06 und 0,19 mm breiten Rissen durch Aufbringen einer statischen, vertikalen Belastung ermittelt. Bei einem Wirksamkeitsindex von 98 bis 100 % ist die Querkraftübertragung auch bei einer Rissbreite von 0,4 mm sehr gut. Dies wurde bereits bei Einsenkungsmessungen an der Versuchsstrecke an der B 56 festgestellt.

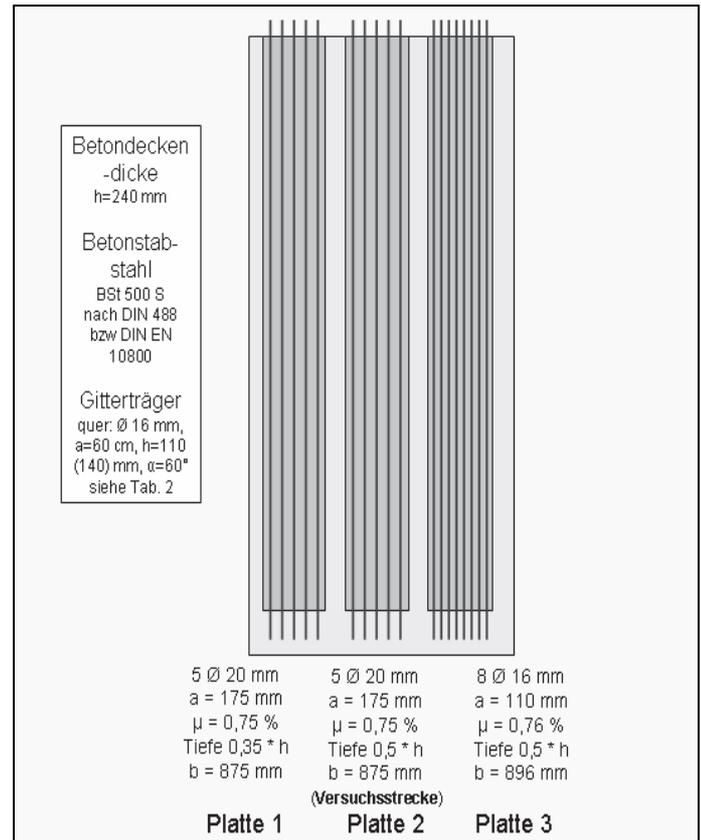


Bild 3: Längsbewehrung der drei durchgehend bewehrten Betonplattenstreifen im Großprüfstand

Anhand der Untersuchung bei Zugkraftsteigerung an der Längsbewehrung zeigt sich, dass in 40 cm Abstand der unter der geöffneten Kerbe nicht vorhandene Verbund zwischen Beton und Stahl anfangs wieder erreicht wird. Die als erstes gerissene Kerbe übernimmt einen Großteil der Verformung bei einer von außen aufgebracht Zugkraft auf den Stahl.

Der Einfluss der um 3 cm unterschiedlichen Höhenlage der Bewehrung auf das Rissbild, der rechnerisch nicht abgeschätzt werden kann, ist ähnlich zu bewerten wie der des Durchmessers. Die Rissbildung im Endbereich der Platten mit höher liegender Bewehrung weist aber auf ein früher mögliches Reißen unter Zugbeanspruchung hin.

Durch Messen der Zugkraft beim abschließenden Ziehen der Betonplattenstreifen auf Vliesstoff und zweilagiger Folie wurde der Reibbeiwert berechnet, der bei Bewegungen von 1 mm zwischen 0,3 und 0,4 beträgt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Reibbeiwert beim Verschieben der Platten bis ca. 6 mm; Unterlage: Vliesstoff auf zweilagiger Folie

Reibbeiwert [1]	Platte 1	Platte 2	Platte 3
Reibbeiwert bei 1 mm Weg	0,37	0,40	0,33
maximaler Reibbeiwert	0,38	0,43	0,38

4. Folgerungen für die Praxis

Für den Bau einer durchgehend bewehrten Betondecke im Zuge einer stark belasteten Straße oder Autobahn in Deutschland wurden nachstehende Anforderungen zusammengestellt, die als Vorschlag für den konstruktiven Aufbau der Versuchsstrecke an der A 5 bei Darmstadt eingebracht wurden.

- Der Beton soll einem Beton B 35 (DIN 1045) bzw. der Festigkeitsklasse C 30/37 (DIN 1045-1 und EN 206-1) entsprechen.
- Die Bewehrung ist aus geripptem Betonstabstahl BSt 500 S (DIN 488) mit einer Streckgrenze von $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ auszuführen. Bei einem Bewehrungsgrad der Längsbewehrung von 0,60 %, bezogen auf den Betonquerschnitt, wird ein Überschreiten der Streckgrenze ausgeschlossen. Empfohlen wird ein Bewehrungsgrad von 0,75 % bis 0,80 %. Damit wird auch die geforderte hohe Querkraftübertragung im Rissbereich sichergestellt. Beim Bewehrungsgrad von 0,75 % wurden im Prüfstandversuch minimale Rissabstände von ca 0,50 m erreicht. Die Rissbreitenbegrenzung kleiner 0,5 mm wurde dabei eingehalten.
- In Querrichtung wird ein Bewehrungsgrad von $\geq 0,14 \%$ vorgeschlagen, der der Querschnittsfläche von fünf Ankern $\varnothing 20 \text{ mm}$ je 5 m-Platte in einer Längsfuge entspricht.
- Der im Versuch angewandte Abstand der Längsbewehrung von der Fahrbahnoberkante entsprechend dem 0,35- bis 0,50-fachen der Deckendicke erbrachte unter Berücksichtigung der nicht vollkommen identischen Zugkraftbelastung keine signifikanten Unterschiede im Rissbild. Vorgeschlagen wird eine Anordnung der Bewehrung mittig oder knapp oberhalb der neutralen Achse.
- Für die Bewehrung in Längsrichtung wird ein Nenndurchmesser von 20 mm, quer zur Fahrtrichtung ein Nenndurchmesser von 16 mm empfohlen.
- Für die Querbewehrung wird ein Winkel von $\geq 60^\circ$ zur Straßenachse empfohlen.
- Die gebundene Tragschicht unter der Betondecke muss erosionsbeständig sein.

Die Untersuchungen mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente ergaben, dass in der Bauklasse SV die Dicke einer durchgehend bewehrten Betondecke von 260 auf 240 mm abgemindert werden kann im Vergleich zu der Standardbauweise mit kurzen, unbewehrten Betonplatten nach RStO.

Die durchgehend bewehrte Betondecke weist durch die gute Rissverzahnung bei einer Rissbreite kleiner 0,5 mm und die Federwirkung der Längsbewehrung eine ausgezeichnete Querkraftübertragung auf, die günstiger ist als beim Lastfall "verdübelter Fugenrand". Damit sind die Voraussetzungen für eine

fugenlose Bauweise gegeben, bei der ein Pumpen unter der Betondecke und eine Erosionsbildung nicht zu erwarten ist.

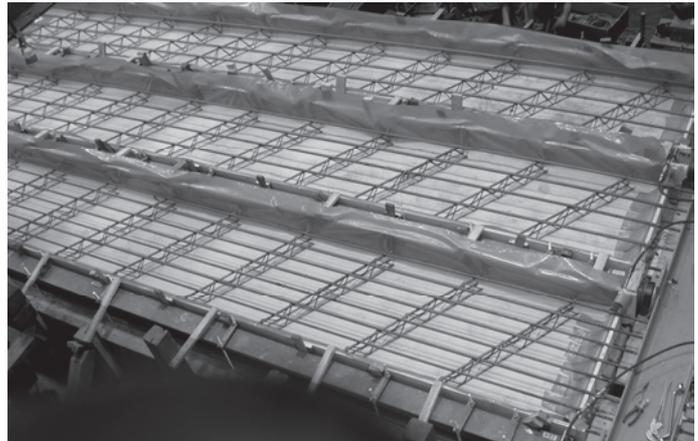


Bild 4:
Längs- und Querbewehrung (Gitterträger) vor dem Betonieren; vier Pressen zur Zugkrafteinleitung in die Längsbewehrung



Bild 5:
rollende Vertikal-Belastung auf zwei Betonplattenstreifen, Radlast ca 10 kN; links Monitor und Endoskop zur Rissbreitenbestimmung

Literaturverzeichnis

- [1] Meier, S.: Durchgehendbewehrte Betondecke; Mitteilungen des Prüfamtes für Bau von Landverkehrswegen der TU München, Heft 80, 2005
- [2] Leykauf, G., Birmann, D., Meier, S.: Durchgehend bewehrte Betondecke; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMVBS, 2006 i. V.