

Auswirkungen der Dübellage auf das Langzeitverhalten von Betondecken

FA 8.150

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

Bearbeiter: Leykauf, G. / Freudenstein, S.

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

Abschluss: Oktober 2000

1. Aufgabenstellung

Fahrbahndecken aus Beton werden zur Reduzierung der temperaturbedingten Spannungen und zum Ausgleich der Längenänderungen aus Schwinden durch Fugen in einzelne Platten unterteilt. Dazu werden an der Oberseite der noch jungen Betondecke Kerben eingebracht, die an der gewünschten Stelle zu einer Rissbildung des Betons führen. Diese Scheinfugen zeichnen sich sowohl durch eine Querkraftübertragung infolge Rissverzahnung, als auch infolge der in den frischen Beton eingerüttelten Dübel aus. Die Dübel sollen auch bei der im Laufe der Liegedauer einer Betondecke abnehmenden Rissverzahnung noch eine ausreichende Querkraftübertragung gewährleisten. Dazu ist eine bestimmte Lage der Dübel im Beton notwendig. In den ZTV Beton-StB 93 sind zulässige Abweichungen in der Höhe, Schräge und senkrecht zur Fuge festgelegt. Die zulässigen Toleranzen der Höhenlage und der Schräglage wurden aufgrund früherer Forschungsarbeiten festgelegt. Die Auswirkung einer Verschiebung der Dübel senkrecht zur Fuge ist jedoch für den Betonstraßenbau bisher in Deutschland nicht näher untersucht worden, so dass auch die diesbezüglichen Anforderungen in den ZTV Beton empirisch begründet sind.

Unzulänglichkeiten in der Dübeleinbindelänge können mehrere Ursachen haben. Bei den Gleitschalungsfertigern der heutigen Generation werden die Dübel zumindest bei der zweilagigen Bauweise im Regelfall in den frischen Beton manuell gesteuert eingerüttelt. Da sich die modernen Einbaugeräte mit Geschwindigkeiten bis zu 5 cm pro Sekunde bewegen können, ergeben sich durch das manuelle Auslösen des Dübelsetzers gewisse Abweichungen von der Solllage. Nach dem Einrütteln ist am Fahrbahnrand in Dübelmitte eine Markierung notwendig, an der sich der Fugenschneider zu orientieren hat. Auch hier können die Markierungen nicht exakt angebracht worden sein, bzw. auch der Fugenschneider kann eventuell abweichend von der markierten Stelle den Kerbschnitt ausführen. Die Breite der Fugenmarkierung und der nicht absolut vertikale Rissverlauf über den Betonrestquerschnitt sind weitere Fehlerquellen für abweichende Dübellagen senkrecht zur Fuge. Die Auswirkung entsprechend kürzerer Einbindelängen der Dübel auf die Beanspruchung einer Betondecke im Fugenbereich wurde im Rahmen der Forschungsarbeit untersucht.

2. Untersuchungsmethodik

Zunächst wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, die aufzeigt, welche Untersuchungen zu diesem Thema bereits veröffentlicht sind. Anschließend wurden im Labor kleine Probekörper mit unterschiedlichen Einbindelängen unter Dauerschwingbeanspruchung getestet, um sinnvolle Randbedingungen für einen aufwändigen Großversuch mit annähernd realen Plattenabmessungen festlegen zu können. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Verifizierung einer theoretischen Untersuchung anhand der Methode der Finiten Elemente.

In den Vorversuchen wurden insgesamt 9 Betonprobekörper mit einer Gesamtlänge von 100 cm bei einer Breite von 25 cm und einer Höhe von 24 cm geprüft. Die Probekörper hatten mittig eine 3 mm breite Fuge und waren nur durch einen innenliegenden Dübel miteinander verbunden. Zunächst wurden die Probekörper auf elastischer Bettung gelagert und rechts der Fuge mit einer mit 3 Hz pulsierenden Last beaufschlagt. Dadurch wurde in den Dübeln vorwiegend Biegung erzeugt. Die Oberlast wurde in jeweils 2 Versuchsphasen von 10 kN auf 25 kN gesteigert. Bei den letzten drei Probekörpern wurde die linke Betonbalkenhälfte starr auf einer Stahlplatte gelagert, um die Scherbeanspruchung im Dübel zu verstärken. In mehreren Versuchsreihen wurden neben der Dübeleinbindelänge auch die Höhenlage des Dübels und die Betondruckfestigkeit variiert. Unter millionenfacher Lasteinwirkung wurde die Veränderung der Einsenkung im Fugenbereich und der Relativbewegung zwischen Dübel und Betonoberfläche registriert. Diese Vorversuche sollten Aufschluss darüber geben, ab welcher Dübeleinbindelänge unter Belastung der kritische Bereich mit steigenden Verformungen beginnt.

Darauf aufbauend wurde der Versuch im Großprüfstand im Maßstab 1:1 konzipiert. Auf einem bestehenden Versuchsaufbau, entsprechend einem herkömmlichen Straßenaufbau aus Frostschuttschicht und HGT, wurde unter Zwischenschaltung eines Geotextils zur Aktivierung einer hohen Biegebeanspruchung eine neue Betondecke mit den Abmessungen 6,5 m x 3,25 m (Istdicke 25 cm) mit verdübelter Querscheinfuge aufgebaut. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorversuchen sollten die Dübeleinbindelängen, die eine Veränderung des Tragverhaltens der Querscheinfuge bewirken, in einem Bereich von weniger als etwa 10 cm liegen. Um innerhalb einer Versuchsanordnung verschiedene Dübeleinbindelängen untersuchen zu können, wurde die 3,25 m breite Betonplatte bezüglich der Dübelanordnung in zwei Hälften unterteilt. Bei einem Dübelabstand in Querrichtung von 25 cm ergaben sich für die Breite der Betonplatte 12 Dübel. Die Systemhalbierung führte dazu, dass der westliche Teil der Betonplatte sechs Dübel mit einer Einbindelänge von 4 cm erhielt und der östliche Teil der Betonplatte sechs Dübel mit der Einbindelänge von 8 cm. Die Dübel lagen jeweils etwa 3 cm unterhalb der Querschnittsmitte. Diese Versuchsanordnung wurde mit insgesamt vier Topflasten belastet. Links und rechts der Fuge standen in 1,75 m Abstand jeweils zwei kreisrunde Topflasten, die quasi zwei Achsen entsprachen. Über den beiden Achsen befanden sich ebenfalls links und rechts der Fuge die beiden Prüfzylinder. Über einen gekoppelten Steuerungsmechanismus konnten beide Prüfzylinder in Abhängigkeit von der Laststellung des jeweiligen anderen Zylinders angesteuert werden. Damit war es möglich, eine praxisnahe Überrollung der Fuge mit einer realen Achslast zu simulieren. Diese Belastung wurde millionenfach bei geschlossener und geöffneter Fuge eingeleitet. Dabei wurden mit induktiven Wegaufnehmern, Messuhren und Dehnmessstreifen die Verformungen gemessen und aufgezeichnet. Durch Erhöhung der Achslast von 100 kN auf 125 kN und eine Veränderung der „Fugenüberrollung“ wurde die Beanspruchung der Querscheinfuge zusätzlich verschärft. Bis zum Versuchsende wurden insgesamt 8,3 Millionen Lastwechsel aufgebracht.

Im Rahmen der theoretischen Untersuchungen mit der Methode der Finiten Elemente wurde ein FE-Netz erzeugt, das durch eine entsprechend feine Strukturierung imstande ist, Detailbereiche komplexer Tragsysteme mit hinreichender Genauigkeit zu erfassen. Dabei wurden sowohl die Probekörper aus den Vorversuchen nachgebildet, als auch ein FE-System generiert, das in den Abmessungen dem Versuchsaufbau im Großprüfstand entspricht. Wichtig für die Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Dübeleinbindelängen ist eine dreidimensionale Betrachtung. Bei der Generierung der Finiten-Element-Struktur

wurde eine möglichst kubische Elementierung angestrebt, was eine schrittweise Verfeinerung des Elementnetzes mit sich brachte, um die Rechenbarkeit der Systeme mit herkömmlichen Computern zu gewährleisten. Die FE-Netze ermöglichen die Berechnung der Verformungen und Spannungen in Abhängigkeit von der Dübeleinbindelänge.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Literaturrecherche zeigt, dass Untersuchungen zum Thema Dübellege bei Betondecken bereits vor mehreren Jahrzehnten durchgeführt wurden. In den dreißiger Jahren hat Friberg Berechnungsergebnisse veröffentlicht, die aufbauend auf der Bettungsmodultheorie zeigen, dass die Druckkräfte, die vom Dübel in den Beton abgetragen werden, in den ersten Zentimetern von der Fuge entfernt eingeleitet werden. Erste Berechnungen mit der FE-Methode von Utescher und Herrmann zeigen eine Steigerung der Beanspruchung des den Dübel umgebenden Betons bei Dübeleinbindelängen von weniger als 10 cm. Diese Untersuchungen erfolgten jedoch nicht für den Einsatz von Dübeln im Betonstraßenbau, sondern wurden zur Thematik scherkraftbeanspruchter Betonfertigteile angestellt. Dementsprechend wurde die im Straßenbau auftretende oftmalige Lastwiederholung nur ungenügend berücksichtigt. Die Auswertung der Literatur lässt jedoch erwarten, dass Dübeleinbindelängen, die geringfügig unter den in den ZTV Beton StB-93 aufgeführten Mindestwerten von 200 mm liegen, durchaus eine dauerhafte Funktion der Querscheinfugen gewährleisten können.

Die Ergebnisse der Dauerversuche mit den kleinen Probekörpern zeigen, dass die Beanspruchung des Dübels und umgebenden Betons in starkem Maße von der Konzeption des Versuchsaufbaues abhängig ist. Die Auflagerung der kurzen Betonbalken auf einer elastischen Bettung führte zu sehr hohen Einsenkungen der Fuge und damit zu einer sehr starken Biegebeanspruchung des Dübels. Dabei wurde der Dübel zwar auch auf Abscheren beansprucht, jedoch überwog eine große Momentenbeanspruchung. Dementsprechend trat zum Teil ein Versagen des Prüfkörpers durch Dauerbruch des Dübelstahles ein, nicht dagegen durch Überbeanspruchung des umgebenden Betons. Eine Modifizierung der Versuchseinrichtung, die hauptsächlich zu einer Scherbeanspruchung des Dübels führte, zeigt selbst bei Dübeleinbindelängen von nur 40 mm keine gravierenden Schäden am Beton, woraus auf eine unzureichende Einbindelänge des Dübels geschlossen werden könnte.

Der Dauerversuch im Großprüfstand im Maßstab 1:1 zeigt Unterschiede zwischen den verschiedenen Dübeleinbindelängen in den Relativbewegungen zwischen den beiden Betonplatten links und rechts der Fuge. Während bei einer Dübeleinbindelänge von tatsächlich 68 mm, wie sich nach dem Vermessen der Betonplatten herausstellte, die Relativbewegungen mit steigender Belastungshäufigkeit kaum zunahmten, veränderten sich die Messwerte auf der anderen Seite der Betonplatte mit nur 30 mm Dübeleinbindelänge stark. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Messwerte lediglich von 0,02 mm auf 0,07 mm anstiegen und somit in ihren Absolutwerten sehr klein sind. Gleiches gilt auch für die Relativbewegung zwischen Dübel und Betonoberfläche. Auch hier stieg die Bewegung bei der kurzen Einbindelänge mit zunehmender Lastwechselzahl an, während sie im anderen Fall beinahe unverändert blieb.

Nach Beendigung des Dauerversuches wurden die Rissflanken der Fugen augenscheinlich untersucht. Es waren am Beton keine Schäden aufgetreten, welche durch die millionenfache „Überrollung“ der Fugenkonstruktion entstanden sind. Dies ist umso erstaunlicher, da die tatsächlich vorhandene Dübeleinbindelänge auf der einen Betonplattenhälfte im Mittel bei 30 mm lag und manche Dübel sogar nur 20 mm einbanden. Sogar die sehr schlanken Stege über den Dübeln, die durch das für Messzwecke vorgenommene Anbohren der Dübel von oben an der Fuge entstanden, blieben unverletzt und zeigten keine Ausbrüche. Dem muss man allerdings entgegenhalten, dass die Versuche ohne Einwirkung von Witterungseinflüssen und ohne

Vorhandensein von Wasser in den Fugen erfolgt sind. Auch horizontale Fugenbewegungen aus temperaturbedingten Plattenbewegungen wurden im Großversuch nicht simuliert, wodurch die Dauerhaftigkeit der Fugenkonstruktion negativ beeinflusst würde.

Die theoretische Betrachtung unterschiedlicher Dübeleinbindelängen führte zu einer klaren Tendenz in den Ergebnissen. Sowohl die FE-Struktur der kurzen Balken aus den Vorversuchen als auch die Elementierung der ganzen Betonplatte führte zu dem Ergebnis, dass selbst bei außermittiger Lage der Dübel im Querschnitt entsprechend den zulässigen Toleranzen im technischen Regelwerk, Dübeleinbindelängen von 100 mm und mehr relativ gleiche Fugeneinsenkungen, Dübelverformungen und vertikale Spannungsverteilungen im Querschnitt der Betondecke mit sich bringen. Wird die Dübeleinbindelänge aber reduziert, so lässt sich ein signifikantes Ansteigen der Beanspruchung der Querscheinfuge mit kürzer werdender Dübeleinbindelänge erkennen.

4. Folgerungen für die Praxis

Bei der Beurteilung von Rissen im Dübelbereich ist zu berücksichtigen, dass allein die Geometrie des Dübels etwa 10 % Schwächung des Restbetonquerschnittes zur Folge hat. Bei besonders hohen Beanspruchungen der Betondecke im Fugenbereich, z. B. infolge von Hohllagen, oder bei nicht qualitätsgerechter Einbettung der Dübel im Beton ist es nicht verwunderlich, dass Risse zwar von den Dübeln ausgehen, nicht aber durch eine unzulässige Dübellege begründet sind. Der Einfluss des Einrüttelns der Dübel und der daraus eventuell resultierenden Qualitätsreduzierung des Betons in den Rüttelnarben wurde nicht untersucht; dieses Problem kann durch eine sorgfältige Bauausführung vermieden werden.

Die zulässige Abweichung der Dübellege senkrecht zur Fuge beträgt gemäß dem derzeit gültigen technischen Regelwerk 50 mm, was zu einer minimal zulässigen Einbindelänge von 200 mm führt. Die durchgeführten Laborversuche und theoretischen Untersuchungen zeigen, dass erst Dübeleinbindelängen von weniger als 100 mm eine Erhöhung der Beanspruchung der Querscheinfugenkonstruktion zur Folge haben. Zu berücksichtigen ist, dass bei den Laborversuchen Witterungseinflüsse und oftmals wiederholte Fugenbewegungen infolge Temperaturänderungen nicht simuliert wurden. Bei den theoretischen Untersuchungen wurden zusätzliche Beanspruchungen aus zulässigen Schräglagen nicht berücksichtigt. In der Praxis sind bei der Herstellung von Betondecken gewisse Unwägbarkeiten nicht zu vermeiden. Dazu zählt in erster Linie, dass zum Zeitpunkt des Kerbschnitts die exakte Lage der Dübel nicht mehr bekannt ist. Jede Markierung ist mit gewissen Abweichungen behaftet. Toleranzen können weiterhin beim Schneiden der Fugen entstehen. Bei in Längsrichtung leicht querstehenden Betondeckenfertigungen oder an Stellen, an denen das Fugenmuster von dem gewöhnlichen Raster abweicht, erfordert es von allen Beteiligten ein hohes Maß an Sorgfalt bei der Kennzeichnung und Ausführung des Fugenschnittes. Bei bis zu 15 m breiten Betondecken führt schon ein sehr kleiner Schräglaufwinkel des Fertigers zu einem Versatz der Fugenenden an den beiden Fahrbahnrandern von einigen Zentimetern.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Forschungsarbeit erscheint es gerechtfertigt, die zulässige Abweichung der Dübellege senkrecht zur Fuge auf ± 75 mm zu erhöhen, entsprechend einer Mindesteinbindelänge von theoretisch 175 mm. Auch bei einem über den Restquerschnitt der Betondecke freien Rissverlauf, der zwar durch den Kerbschnitt gesteuert wird, im unteren, nicht geschnittenen Bereich der Betondecke aber immer noch um einige Zentimeter verspringen kann, ist damit noch ein ausreichendes Mindestmaß an Dübeleinbindelänge vorhanden. Die Untersuchungsergebnisse zeigen weiter, dass die in den ZTV Beton geforderte Dübellege von 500 mm voll ausreichend für ein gutes Langzeitverhalten der Betondecke ist. □