

Dünne Betondecken auf Brücken mit Übergangskonstruktionen

FA 8.191

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau (Prof. Dr.-Ing. M. Curbach)

Bearbeiter: Michler, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: März 2011

1 Aufgabenstellung

Untersucht wurde ein Brückenbelagsystem, das aus einer dünnen fugenlosen Betondecke auf einer Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff (gemäß ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 3) [1], [2] besteht. Die ca. 8 cm dünne Betonplatte übernimmt die Tragfunktion. Die Flüssigkunststoff-Dichtungsschicht gewährleistet eine sichere Abdichtung des darunter liegenden Brückenträgers oder auch einer Fahrbahnübergangskonstruktion. Diese wirtschaftliche Betonbauweise würde eine dauerhafte Sanierung bestehender Asphalt-Brückenbeläge ohne eine Steigerung des Eigengewichts ermöglichen. Reserven für Verkehrslasterhöhungen bei der Sanierung wären ebenso vorhanden wie bei herkömmlichen Fahrbahnaufbauten.

Ausgangspunkt ist die Beobachtung von Spurrinnenbildung auf Brücken mit einer Ausführung des Fahrbahnbelags in Asphaltbauweise. Diese Spurrinnen machen eine vorzeitige Sanierung und Erneuerung der Fahrbahndecke erforderlich und treten nicht nur im Bereich des Anfahrens und Bremsens vor Signalanlagen auf. Die Ursache hierfür könnte im Bereich des lediglich 8 cm starken Fahrbahnbelages in Asphaltbauweise in Kombination mit einer Dichtungsschicht mit Bitumen-Schweißbahnen (gemäß ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 1) gesehen werden. Diese Dichtungsschicht kann als Gleitschicht wirken und so das Verformungsverhalten der Fahrbahndecke beeinflussen.

Dem negativen Verformungsverhalten soll die erheblich verformungsärmere Ausbildung einer dünnen Betonplatte als Fahrbahnbelag abhelfen. Derartige dünne Betonfahrbahnen, bis zu 12 cm Dicke, werden in der Schweiz und Österreich in monolithischer Bauweise, also im direkten Verbund mit dem Konstruktionsbeton, hergestellt. Bei den so in den letzten 25 Jahren in der Schweiz ausgeführten Betonbelägen wird aber in etwa 20 % der Fälle kein zufriedenstellendes Verhalten festgestellt.

Im Rahmen der Arbeit soll untersucht werden, inwieweit eine fugenlose dünne Betondecke als Fahrbahnbelag auf einer Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff (gemäß ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 3) hergestellt werden kann, und welchen prinzipiellen Beanspruchungen dieses Brückenbelagsystem ausgesetzt ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen die wesentlichen Kriterien für die verwendeten Baustoffe festgelegt, eine Konstruktion entworfen und deren technische Details so weit wie möglich durchkonstruiert und durch Versuche abgesichert werden. Eine in der Praxis einsatzfähige Konstruktion kann nicht vorgeschlagen werden. Einige der hierzu notwendigen Detailfragen sollen im Rahmen der Arbeit nicht gelöst werden. Hierzu gehört die vorgeschriebene Betondeckung einer Beton-Stahl-Bewehrung die es mit einer Stärke von 4,5 cm nicht erlaubt eine Platte von 8 cm herkömmlich zu armieren. Erarbeitet wurden generelle Aussagen über die Machbarkeit eines solchen Brückenbelags hinsichtlich der Anwendungsgebiete Neubau und Sanierung oder Instandsetzung sowie Empfehlungen für weiterführende Forschungsarbeiten. Die stofflichen Anforderungen an die Dichtungsschicht sowie Deckschicht werden spezifiziert, um damit geeig-

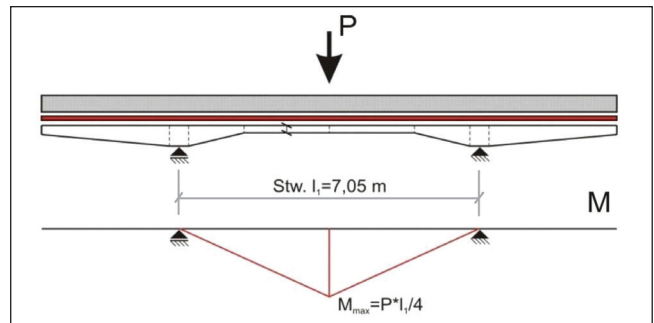


Bild 1: Schema Großversuch, Last in Feldmitte

nete Materialien für die Dichtungsschicht entwickeln bzw. auswählen und konfektionieren zu können. Es ist durchaus wünschenswert das Material der Flüssigkunststoff-Dichtungsschicht hinsichtlich der Anforderungen als Zwischenschicht unter dünnen Betonfahrbahnplatten zu optimieren.

2 Untersuchungsmethodik

Zuerst wurden die Materialparameter an einer Referenzdichtungsschicht erkundet und untersucht und das Verhalten des Systems mit FEM simuliert. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend wurde ein Großversuch an einem 13,5 m langen Träger durchgeführt, um das Verhalten in einem wirklichkeitsgetreuen Maßstab verifizieren zu können. Der Fokus lag vor allem auf den Eigenschaften der Dichtungsschicht, die von Belastungszeit und -geschwindigkeit abhängen, Stichwort Relaxation. Der Träger für die Großversuche wurde im Vergleich zur Baupraxis sehr biegeweich ausgelegt, um in der Flüssigkunststoff-Dichtungsschicht eine Scherbeanspruchung zu erzeugen, wie sie im Bauwerk, infolge wechselnder Temperaturlasten, erwartet werden.

Durchgeführt wurden 3-Punkt-Biegeversuche, wobei die Beanspruchung sowohl in Feldmitte, als auch auf dem Kragarm eingeleitet wurde. Es wurden immer Belastungszyklen mit unterschiedlichem Lastniveau und unterschiedlichen Laststeigerungsgeschwindigkeiten durchgeführt, um vor allem die zeitabhängigen Materialparameter im großmaßstäblichen Versuch verifizieren zu können.



Bild 2: Verformungszustand Last in Feldmitte



Bild 3: Verformungszustand, Last auf Kragarm

Erkundung der Materialparameter: Bisher werden in der Baupraxis Flüssigkunststoff-Dichtschichten in Kombination mit einem bituminösen Belag eingesetzt. Für eine exakte Modellierung eines solchen Systems und damit auch der zu untersuchenden neuartigen Materialkombination waren aber nicht alle benötigten Materialparameter bekannt, wie z. B. der Schubmodul der Flüssigkunststoff-Dichtschicht.

Diese Parameter wurden deshalb zuerst ermittelt. Hierzu wurden kleinteilige Proben einer Schubbeanspruchung ausgesetzt. Für die 20 x 10 cm großen Proben wurde eines der verfügbaren Materialien in Abstimmung mit dem Auftraggeber als Referenzsystem ausgewählt. Dieses wird auch eingesetzt, um den Großversuch im Maßstab 1:1 durchzuführen. Der Test eines der zur Verfügung stehenden Materialien ist hier ausreichend, da lediglich die prinzipielle Machbarkeit eines derartigen Systems untersucht werden soll. Das Forschungsvorhaben soll helfen, die Anforderungen an ein Material der Flüssigkunststoff-Dichtschicht zu definieren, die im Zusammenwirken mit einer dünnen Fahrbahnplatte aus Beton von diesem aufgenommen werden müssen.

Im Gegensatz zum Standardversuch nach TP BEL-B wurde aber der Versuchsaufbau abgeändert. Die Normalbeanspruchung in der Dichtschicht wurde dadurch signifikant reduziert und es können, im Vorzeichen, wechselnde Beanspruchungen aufgebracht werden. Dies ist wichtig, um die in natura auftretenden Beanspruchungen nachbilden zu können. Besonderes Augenmerk galt folgenden Parametern:

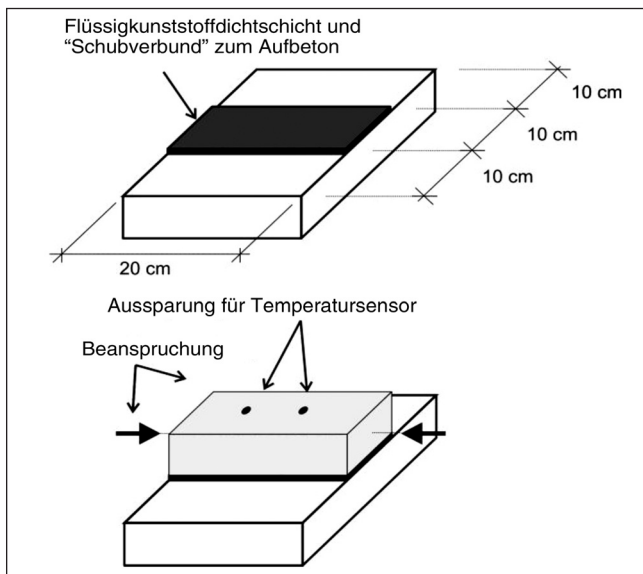


Bild 4: Schemaskizze Versuchskörper zur Erkundung der Materialparameter

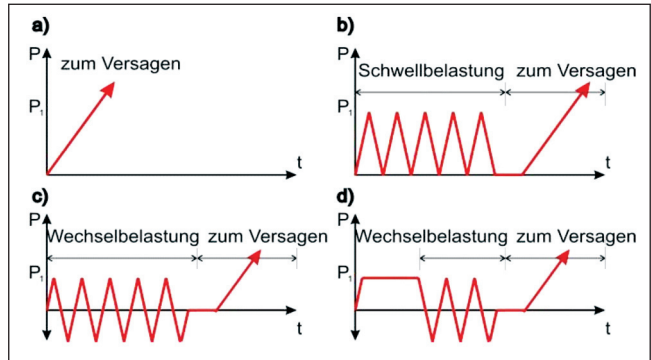


Bild 5: Beanspruchungsregime

- Temperatureinfluss (-40 °C bis +50 °C),
- Belastungsgeschwindigkeit (0,003 – 0,250 mm/s),
- Relaxation,
- Wiederholtes Aufbringen von Schubverformungen (jeweils ± 1,2 oder 3 mm in bis zu 100 Zyklen),
- Bruchfestigkeit infolge Schubbeanspruchung.

Außerdem wurden die für die Simulation benötigten Parameter zum Wärmetransport verifiziert.

Simulation: Das System dünne Fahrbahnplatte auf Dichtschicht wurde numerisch simuliert. Mit klimatischen Modellrechnungen und Jahreszeitzyklen konnten verhältnismäßig weit gestreute Szenarien der real zu erwartenden Beanspruchung der dünnen Fahrbahnplatte simuliert und damit die Beanspruchung der dünnen Platte im Bauwerk abgeschätzt werden. Bei den Simulationen, speziell bei den Temperatursimulationen, zeigt sich, dass die anzusetzenden Grenztemperaturen für ein derartiges Belagsystem noch einer genaueren Regelung bzw. Definition der Anforderungen bedürfen. Bei dem Material der Flüssigkunststoff-Dichtschicht handelt es sich um einen Stoff, der in seinen Eigenschaften extrem von der zeitlichen Komponente der Einwirkungen bestimmt wird. Entsprechend sind nicht nur die Grenztemperaturen, sondern auch die Temperaturänderungsgeschwindigkeiten für ein derartiges System zu diskutieren.

Eignung: Mit den durchgeführten Großversuchen konnten die Ergebnisse der Simulation bestätigt werden. Die Großversuche zeigten, dass die erwarteten Beanspruchungen des neuartigen Systems der dünnen Fahrbahnplatte auf einer Flüssigkunststoff-Dichtschicht im Gesamtsystem schadlos aufgenommen werden können. Anhand der Simulation ist man in der Lage, die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen vorherzusagen. Damit können nun Eignungsnachweise für verschiedene Materialien der Flüssigkunststoff-Dichtschicht in Kombination mit unterschiedlichen Haftbrücken im kleinmaßstäblichen Versuch erbracht werden. Dies erlaubt es dem Auftraggeber, geeignete Materialverbände für seine Anforderungen zu spezifizieren und die Konstruktion entsprechend auszulegen.

3 Untersuchungsergebnisse

Versuche und Simulation haben gezeigt, dass eine dünne Fahrbahnplatte aus Beton als Deckschicht machbar erscheint. Diese Deckschicht kann alleine durch die Flüssigkunststoff-Dichtschicht mit der Brückenkonstruktion verbunden werden und bedarf keiner zusätzlichen Fixierungen. Die auftretenden Beanspruchungen sind grundsätzlich aufnehmbar. Bevor das System in die Praxis überführt werden kann, sollte jedoch noch geprüft werden, ob die zur Verfügung stehende Betondeckung für die Bewehrung in der 8 cm dicken Betonschicht ausreichend ist. Eine Bewehrung muss für die auftretenden Zugbeanspruchungen eingelegt werden, jedoch können die auftretenden Zugkräfte im System beeinflusst werden und die Bewehrung kann nicht nur

als klassische Betonstahlbewehrung ausgeführt werden. Dieser Punkt sollte nach der Auswertung des hiermit vorliegenden Berichtes weiter diskutiert werden. Unabhängig von diesem Gesichtspunkt können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Das Material der untersuchten Flüssigkunststoff-Dichtschicht ist in der Lage, die nachfolgend aufgeführten, real auftretenden Beanspruchungen sicher zu ertragen:

- die jahreszeitliche und klimatisch bedingte Temperaturbeanspruchung,
- Scherbeanspruchungen aus unterschiedlichen Bewegungen der Betondeckschicht und der darunter liegenden Brückenkonstruktion,
- chemische Beanspruchungen; gemeint sind vor allem das alkalische Milieu des Betons und die Chloridbeanspruchung (Taumittleinsatz),
- mechanische Beanspruchungen infolge Verkehrs: Allerdings spielen diese Lasten im Vergleich zu den zuvor angeführten Beanspruchungen nur eine untergeordnete Rolle.

2. Für das untersuchte Referenzmaterial wurden Eignungsversuche in einem weiten Temperaturfeld von -30 bis $+50$ °C durchgeführt. Die Spitzenwerte lagen sogar bei -40 und $+60$ °C. Bei diesen Versuchen wurden Scherbeanspruchungen von ± 1 mm über 100 Zyklen lang ohne größere Probleme ertragen.

Der in der Praxis zu erwartende Wert liegt bei $\pm 0,3$ mm. Bei (nicht praxisrelevanten) Scherbeanspruchungen von ± 2 mm oder ± 3 mm wurde diese Anzahl Zyklen allerdings nicht mehr erreicht.

3. Ablösungserscheinungen traten im hohen Temperaturbereich zwischen Flüssigkunststoff-Dichtschicht und Altbeton auf. Dies war so nicht erwartet worden. Da diese Art der Verbindung üblicherweise aber auch unter Asphaltdecken eingesetzt wird, sollte geprüft werden, ob hier schon Ähnliches beobachtet wurde.

4. Die Haftzug- oder Reißfestigkeit der Konstruktion war in allen Kontaktflächen und auch innerhalb der Materialschichten ausreichend. Ein Ablösen der Schichten oder ein Aufwölben der dünnen Deckschicht ist also nicht zu erwarten. (Eine Ausnahme bilden hier hohe Temperaturen, siehe 3.). Für das Auftragen der Flüssigkunststoff-Dichtschicht wird als Eignungsprüfung eine Haftzugfestigkeit im Altbeton von $1,5$ N/mm² gefordert. Dieser Wert sollte auf alle Grenzschichten der Konstruktion erweitert werden. Im Rahmen der in diesem Bericht vorgestellten Untersuchungen wurde die Abreißfestigkeit nicht explizit getestet. Numerisch wurden erforderliche Abreißfestigkeiten von $0,3$ N/mm² berechnet.

5. Das Material der Flüssigkunststoff-Dichtschicht hat ein ausgeprägtes Relaxationsverhalten. Damit entzieht sich das Material einer Beanspruchung aus eingepprägter Verschiebung. Somit führen "langsame" Beanspruchungen zu geringen Beanspruchungen in der Konstruktion/der Dichtschicht. Dies ist sehr vorteilhaft, da die Hauptbeanspruchungen der Flüssigkunststoff-Dichtschicht aus den Temperaturunterschieden in der Konstruktion herrühren, die i. d. R. relativ langsam vonstattengehen.

6. Beanspruchungen aus dem Verkehr spielen im Vergleich zu den sonstigen Beanspruchungen für die Dichtschicht lediglich eine untergeordnete Rolle. Radlasten sind ausreichend verteilt und sind lediglich bei der Bemessung der Deckschicht zu berücksichtigen. Horizontallasten aus Bremsen und Beschleunigung etc. werden auf ausreichend große Flächen verteilt und bewirken aufgrund ihres kurzzeitigen schnellen Auftretens bei dem untersuchten Material keine nachweisbaren Verformungen.

7. Die Hauptbeanspruchung in der Konstruktion wird vom Temperaturgefälle in diesem initiiert. Dabei führt die wärmedämmende Wirkung der Flüssigkunststoff-Dichtschicht zu größeren Temperaturdifferenzen. Deshalb muss beachtet werden, dass sich der Einsatz größerer Schichtdicken nicht in jedem Falle günstiger auf das Trag- und Verformungsverhalten aus-

wirkt. (In diesem Vorhaben wurde entsprechend des Forschungsauftrags mit einer 2 mm dicken Flüssigkunststoff-Dichtschicht gearbeitet.)

8. Für die Simulation standen keine gesicherten Messwerte für die anzusetzenden Temperaturbeanspruchungen von z. B. zum Wärmetransport innerhalb einer Brückenkonstruktion mit Deckschicht zur Verfügung. Es lagen auch keine Erfahrungswerte vor. Deshalb wurden bei der Simulation entsprechende Annahmen getroffen. Es wurde von einem Aufheizen der Konstruktion durch Sonneneinstrahlung (mittlerer Wert für Süddeutschland) ohne Wärmeabtransport durch Konvektion (Wind) ausgegangen. Damit wurden in der Dichtschicht Temperaturen von ca. 45 °C erreicht, was in der Konstruktion die ungünstigsten Temperaturunterschiede ergab. Abkühlprozesse würden sich generell günstiger auswirken. Die wahrscheinlich auftretenden Temperaturbeanspruchungen können damit nach oben abgeschätzt werden. Die für eine Bemessung anzusetzenden Differenztemperaturen und damit das Sicherheitsniveau muss der potenzielle Bauherr jedoch noch festlegen.

9. Die maximale Beanspruchung der Flüssigkunststoff-Dichtschicht tritt im Temperaturlastfall als Scherung auf. Bezogen auf die untersuchte Schichtdicke von 2 mm betrug der Maximalwert dieser Scherverschiebung an den Plattenrändern sowohl in Brückenlängs- als auch in Brückenquerrichtung $0,25$ mm. Bei Überlagerung der beiden Richtungen ergeben sich $0,35$ mm als maximaler, resultierender Wert. Diese Scherverschiebung baute sich über eine "Lasteinleitungslänge" von ca. $5,5$ m auf und nimmt dabei zum Plattenrand hin zu. Alle Bereiche der Flüssigkunststoff-Dichtschicht, die weiter als $5,5$ m vom Plattenrand entfernt liegen, werden dann nicht mehr durch eine Scherung beansprucht. Damit wird bei einer Brückenlänge von mehr als 11 m keine höhere Scherbeanspruchung erwartet. Übliche Fahrbahnbreiten erreichen jedoch 11 m, womit im Anschluss zum Schrammbord/Kappe diese Scherung auch voll aufzunehmen ist. Der konkret zu berücksichtigende Wert ist abhängig von der Steifigkeit und dem Relaxationsverhalten der verwendeten Materialien. Die in diesem Bericht angegebenen Daten sind so nur für das untersuchte Referenzmaterial gültig. Die untersuchte Scherbeanspruchung von bis zu ± 3 mm (Regelversuche: ± 1 mm) liegt somit deutlich über der in der Realität maximal zu Erwartenden.

10. Die Normalbeanspruchung in der Fahrbahnplatte beträgt in den Temperaturlastfällen maximal $\pm 2,7$ N/mm² für den untersuchten Beton C30/37. Dieser Wert übersteigt zwar die Betonzugfestigkeit, er kann aber durch geeignete Maßnahmen beherrscht werden.

11. Berücksichtigt man die Biegebeanspruchung in der Fahrbahnplatte, so erreichen die Randzugspannungen in der Fahrbahnplatte Werte von bis zu $\pm 3,8$ N/mm². Deshalb sollte z. B. darüber nachgedacht werden, einen zugfesteren Beton einzusetzen. Mit dem Einsatz eines kostenintensiveren UHPC mit Fasern kann z. B. eine gute Verteilung der Risse erreicht werden, was Beispiele aus der Schweiz oder Österreich belegen (Kap. 2.4.1 und 2.4.2 des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben bzw. [4] und [5]). Damit wird die Fahrbahnplatte dichter und könnte bei entsprechender Ausführung auch die Aufgabe der Flüssigkunststoff-Dichtschicht mit übernehmen. Der Wegfall dieser Schicht hätte zudem den Vorteil, dass auch die Temperaturunterschiede in der Konstruktion geringer werden würden, da deren wärmedämmende Wirkung entfällt. Dies wiederum reduziert die Beanspruchung. Dieser Ansatz sollte im Rahmen des vorliegenden Projektes (auftragsgemäß) aber nicht weitergeführt werden.

12. Ein anderer Weg, die Zugbeanspruchung zu reduzieren, ist das Anordnen von Fugen. Reduziert man den kritischen Grenzwert der Lasteinleitungslänge von $5,5$ m bewusst auf ca. $4,0$ m, so halbiert sich die Beanspruchung. Fugen und Trennrisse werden auch mit Radlasten am Rissufer nicht problematisch.

4 Folgerungen für die Praxis

Die durchgeführten Versuche haben bestätigt, dass eine dünne Aufbetonplatte als befahrene Deckschicht auf einer Flüssigkunststoff-Dichtungsschicht anwendbar ist. Die am Referenzsystem kleinteilige Versuche – und in den Großversuchen gewonnenen Daten lassen den Einsatz derartiger Systeme günstig und machbar erscheinen. Wir danken der BAST für die Möglichkeit, dieses interessante System untersucht haben zu dürfen.

5 Literatur

[1] ZTV-ING (2003): – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Baudurchführung, Sammlung Brücken- und Ingenieurbau, BAST Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

[2] ZTV-BEL-B (1987): Vorläufige Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Herstellung von Brückenbelägen auf Beton, Teil 3 Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau

[3] DIN-Fachbericht 101 (2003): Einwirkungen auf Brücken, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag Berlin Wien Zürich

[4] Bianchi, Carlo (2004): Betonbeläge auf Brücken. Referat im Rahmen der Fachtagung Betonstrassen der CEM Suisse 9. September 2004. Carlo Bianchi, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Wolf, Kropf & Partner AG, Zürich (Intern A)

[5] Käser, M.: Betonfahrbahnen auf Brücken. Referat zum Fachkolloquium Betonfahrbahnen im Straßenbau. Veranstalter: BD/TBA/ABT. B+W Oberbau und Geotechnik 1

$$K = \frac{11}{(D + d - h)}$$